

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ**

«На правах рукопису»
УДК 621.314

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

“ ” 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 151.Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології
на тему: “АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК
МІЦНОСТІ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ”**

Виконала:

студентка 6 курсу, групи ПБ – 61 м

Писаренко Олена Леонідівна

Науковий керівник:

ст. викладач, канд. техн. наук

Осадчий О.А.

Консультант з розділу 5. Розроблення стартап-проекту:

доцент, канд. економ. наук

Бояринова К.О.

Рецензент:

доцент, канд. техн. наук,

Киричук Ю.В.

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
(освітньо-науковою) програмою

Спеціальність (спеціалізація) - 151. “Автоматизація та комп’ютерно-
інтегровані технології”

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Писаренко Олена Леонідівна**

1. Тема дисертації АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ
науковий керівник дисертації Осадчий Олександр Анатолійович, канд. техн. наук, старший викладач.
затверджені наказом по університету від «23» березня 2018 р. №1006-с

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Об’єкт дослідження: автоматизована система контролю на базі вертикального копра зі стрижнями Гопкінсона-Кольського оснащена електромагнітним прискорювачем.

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): визначення характеристик міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити. Огляд стану проблеми та актуальність роботи. Огляд методів та засобів для контролю міцності матеріалів при динамічному навантаженні. Виконання модернізації установки контролю міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні за рахунок оснащення її електромагнітним прискорювачем. Розроблення принципової схеми запуску електромагніту. Виконання автоматизації установки за допомогою високошвидкісного аналого–цифрового пе-

ретворювача. Практичне застосування розробленої системи. Розробка стартап-проекту.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу

7. Орієнтовний перелік публікацій За матеріалами дисертації було подано заявку на отримання патенту України на корисну модель, опубліковано в матеріалах конференцій – 2 доповіді, у збірниках тез – 5 тез конференцій.

8. Консультанти розділів дисертації*

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------------------------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 5. Розроблення стартап-проекту | Бояринова К.О., доцент | | |

9. Дата видачі завдання 5.02.2018 р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Строк виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|---|----------|
| 1 | Огляд стану проблеми та актуальність роботи | 20.02.2018 | |
| 2 | Огляд методів та засобів для контролю міцності матеріалів при динамічному навантаженні | 09.03.2018 | |
| 3 | Виконання модернізації установки контролю міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні за рахунок оснащення її електромагнітним прискорювачем | 30.03.2018 | |
| 4 | Розроблення принципової схеми запуску електромагніту | 05.04.2018 | |
| 5 | Виконання автоматизації установки за допомогою високошвидкісного аналого-цифрового перетворювача | 13.04.2018 | |
| 6 | Практичне застосування розробленої системи | 20.04.2018 | |
| 7 | Розробка стартап-проекту. | 04.05.2018 | |

Студент _____

О.Л. Писаренко

Науковий керівник дисертації _____

О.А. Осадчий

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

Реферат

Актуальність магістерської дисертації полягає у розробці автоматизованої системи досліджень характеристик міцності нових інструментальних і конструкційних матеріалів.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, переліку посилань. Загальний обсяг дисертації становить 107 сторінок, 43 малюнків, 28 таблиць, 35 положень переліку посилань.

Зв'язок роботи з науковими роботами, планами, темами.

Дана дисертаційна робота виконувалась у співпраці з “Інститутом надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля” у відповідності з пріоритетними напрямами розвитку науки і техніки в Україні. Даний науковий інститут має всі необхідні лабораторні установки та прилади для проведення дослідження. Дисертаційні дослідження виконувались в рамках ініціативної теми № 0118 U 004225 від 19.03.2018 р.

Мета і завдання дослідження. Метою даної дипломної дисертації є розробка автоматизованої системи контролю характеристик міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні на базі установки «Копер».

Для досягнення відповідної мети потрібно вирішити наступні задачі:

1. Огляд стану проблеми та актуальність роботи;
2. Огляд методів та засобів для контролю міцності матеріалів при динамічному навантаженні;
3. Виконання модернізації установки контролю міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні за рахунок оснащення її електромагнітним прискорювачем;
4. Розроблення принципової схеми запуску електромагніту;
5. Виконання автоматизації установки за допомогою високошвидкісного аналого–цифрового перетворювача;
6. Застосування методики Кольського на основі мірних стержнів Гопкінсона для визначення енергетичних характеристик процесу руйнування крихких матеріалів;

7. Встановлення залежності границі міцності на розтяг при діаметральному стиску інструментальних композитів на основі КНБ від вмісту алюмінію та дибориду титану TiB_2 .

8. Розробка стартап-проекту.

Об'єктом дослідження являються – автоматизована система контролю на базі вертикального копра зі стрижнями Гопкінсона-Кольського оснащена електромагнітним прискорювачем.

Предметом дослідження визначення характеристик міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні.

Методи дослідження. Методика Кольського з застосуванням розрізних стрижнів Гопкінсона–Кольського на яку покладена одномірна теорія поширення пружних хвиль у довгих тонких стрижнях.

Наукова новизна:

1. Вперше було застосовано методику Кольського на основі мірних стержнів Гопкінсона для визначення енергетичних характеристик процесу руйнування крихких матеріалів.

2. Вперше було встановлено залежність границі міцності на розтяг при діаметральному стиску інструментальних композитів на основі КНБ від вмісту алюмінію та дибориду титану TiB_2 .

Практичне значення

Була розроблена система контролю характеристик міцності крихких матеріалів, яка пройшла апробацію при дослідженнях міцності твердих сплавів та надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору. Розроблена система застосовується для визначення характеристик нових інструментальних та конструкційних матеріалів, які розроблюються в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля. Проведення автоматизації системи дозволило значно скоротити час необхідний на проведення досліджень.

Апробація результатів. Результати дисертаційних досліджень доповідались на наступних конференціях:

- X міжнародна науково-практична конференція 16-17 травня 2017 року, Київ, Україна. – К.: НАУ, 2017;
- X Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Погляд у майбутнє приладобудування 16-17 травня 2017 року, Київ, Україна. – К.: НТУУ КПІ, 2018;
- XVII міжнародної науково-практичної конференції «машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» 01 - 03 листопада 2017 р. м. Чернігів
 - патент України на корисну модель №u201711007, заявл. 10.11.17;
 - 6-я международная самсоновская конференция “материаловедение тугоплавких соединений” 22-24 мая 2018 року, Київ, Україна - К.: НТУУ КПІ., 2018;
 - Сімнадцята міжнародна науково-технічна конференція “Приладобудування: стан і перспективи” 15 - 16 травня 2018 р., м. Київ, Україна - К.: нтуу кпі, 2018;
 - XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Погляд у майбутнє приладобудування 15-16 травня 2018 року, Київ, Україна. – К.: НТУУ КПІ, 2018.

Публікації. За матеріалами дисертації було подано заявку на отримання патенту України на корисну модель, опубліковано 2 статті (одна у фаховому виданні) та 5 тез доповідей.

Ключові слова:

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ПРИСКОРЮВАЧ МАС, УСТАНОВКА КОПЕР, ПРИСКОРЮВАЧІ, ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ, БОЙОК, БЛОК КЕРУВАННЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ЧАСТИНОК, МІРНІ СТИРЖНІ ГОПКІНСОНА, КОТУШКА ІНДУКТИВНОСТІ, ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ, ОПТОПАРА.

Abstract

The relevance of the master's dissertation consists in the development of an automated system for investigation of the strength characteristics of new instrumental and structural materials.

The dissertation work consists of introduction, five sections, conclusions, list of references. The total volume of the dissertation is 107 pages, 43 drawings, 28 tables, 35 provisions of the reference list.

Relationship of this work with scientific works, plans, themes.

This dissertation work was carried out in cooperation with the "Institute of Superhard Materials named after V.M. Bakul" in accordance with the priority directions of science and technology development in Ukraine. This scientific institute has all the necessary laboratory installations and equipment for research conducting. Dissertational researches were carried out within the framework of the initiative theme № 0118 U 004225 dated March 19, 2018.

The purpose and tasks of the research. The purpose of this diploma dissertation is a development of automated system to control the characteristics of brittle materials hardness under dynamic load on the basis of the "Koper" device.

To achieve the purpose it is necessary to solve the following tasks:

1. To review actual problem and the relevance of the work;
2. To review all methods and means for controlling the strength of materials under dynamic load;
3. To perform the modernization of the brittle materials strength control device at a dynamical load while equipping of it with the electromagnetic accelerator;
4. To develop the principal scheme of magnet start;
5. To perform the automatization of the device using the high-speed analog-to-digital converter;
6. To apply the system on the basis of Hopkinson's dimensional rods to determine the energy characteristics of destroying process of brittle materials;

7. To define the dependence of the strength limits on the diameter tension of the compression of instrumental composites based on CNB on the content of aluminum and titanium diboride TiB_2 ;

8. To develop a startup project.

The object of the trial is – an automated control system based on the vertical copra with Hopkinson-Kola rods that is equipped with an electromagnetic accelerator.

The subject of the research is automation of the research system of the fragile materials strength characteristics under dynamic load.

Research methods. The one-dimensional theory of the propagation of elastic waves in the long thin rods “Koper” based on the Hopkinson-Kolskiy measuring rods.

The scientific novelty:

1. A system based on Hopkinson measuring rods was used for the first time to determine the energy characteristics of the process of brittle materials destruction.

2. The dependence of the strength limit on the diameter tension of the compression of instrumental composites based on the CNB on the content of aluminum and titanium diboride TiB_2 .

Practical meaning

A system for monitoring of the characteristics control of durability of brittle materials was developed, which was tested at solid strength studies of hard alloys and superhard materials on the basis of cubic boron nitride. The developed system is used to determine the characteristics of new instrumental and structural materials that are developed in the Institute of Superhard Materials named after V.M. Bakul. Carrying out automation of the system allowed to reduce significantly the time required for research conducting.

Personal contribution of the author. The author: performed a part of the design and methodological developments and their justification, received the experimental results, conducted their analysis and processing, formulated con-

clusions, took an active part in the implementation of the development results and research into learning process and production.

The dissertation work is a self-fulfilled scientific work. Dissertation work contains only those ideas, provisions and calculations that are the results of my own scientific contribution.

Approbation of the results. The results of dissertation took place at the following conferences:

- X-th International Scientific and Practical Conference dated May 16-17, 2017, Kyiv, Ukraine. - K.: NAU, 2017 ;

- X-th International scientific and practical conferences of students, graduate students and young scientists. Looking into the future instrument making dated May 16-17, 2017, Kyiv, Ukraine. - K.: NTUU KPI, 2018;

- XVII-th International scientific and practical conferences « Machine building from the side of young: progressive ideas - science - production » dated November 01-03, 2017, Chernihiv;

- Patent of Ukraine on the utility model № u201711007, decl. 10.11.17;

- 6-th International Samson Conference "Material Science of Refractory Compounds" May 22-24, 2018, Kyiv, Ukraine - K.: NTUU KPI, 2018;

- Seventeenth International Scientific and Technical Conference "Instrument-making: the state and prospects" May 15-16, 2018, Kyiv, Ukraine - K.: NTUU KPI, 2018;

- XI-th International scientific and practical conferences of students, graduate students and young scientists. Looking into the future instrument making dated May 15-16, 2018, Kyiv, Ukraine. - K.: NTUU KPI, 2018;

Publications. According to the dissertation materials, an application for a patent of Ukraine on the utility model receiving was submitted, published 2 reports (one in a professional edition), and 5 theses of reports.

Key words:

ELECTROMAGNETIC MASS ACCELERATOR, COPPER DEVICE, DYNAMIC TRIAL, PEEN, CONTROL UNIT, CHARGED PARTICLES, MEASURING RODS OF HOPKINSON, INDUCTIVE COIL, SPEED MEASUREMENT DEVICE, OPTO-COUPLE.

Зміст

| | |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ..... | 13 |
| Вступ..... | 14 |
| 1. ОПИС ТА ВИДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УСТАНОВОК | 18 |
| 1.1. Класифікація копрів | 18 |
| 1.2. Ротаційні копри | 19 |
| 1.3. Маятникові копри | 22 |
| 1.4. Вертикальні копри | 26 |
| 1.5. Висновки до розділу 1 | 28 |
| 2. ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ..... | 29 |
| 2.1. Магнітний прискорювач мас | 29 |
| 2.2. Різновиди типів прискорювачів мас | 30 |
| 2.3. Багатоступінчастий магнітний прискорювач | 32 |
| 2.4. Проблеми, що виникають в процесі конструювання магнітних прискорювачів..... | 34 |
| 2.5. Теорія розділених стрижнів Гопкінсона | 37 |
| 2.6. Котушка електромагнітного прискорювача..... | 38 |
| 2.7. Опис програмного забезпечення «PowerGraph» | 43 |
| 2.8. Висновки до розділу 2 | 48 |
| 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ УСТАНОВКИ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ЗРАЗКІВ | 50 |
| 3.1. Особливості установки для випробувань на міцність при динамічному навантаженні зразків | 50 |
| 3.2. Розробка схеми керування електромагнітом | 54 |
| 3.3. Блок керування електромагнітом..... | 56 |
| 3.4. Розробка системи вимірювання швидкості бойка та стикування установки з комп'ютером | 65 |
| 3.5. Висновки до розділу 3 | 69 |
| 4. ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВИПРОБУВАННЯ УСТАНОВКИ . | 71 |

| | |
|---|-----|
| 4.1. Розробка методики градування установки контролю міцності твердих сплавів при динамічному навантаженні | 71 |
| 4.2. Застосування вертикального копра для дослідження міцності та енергії руйнування при динамічному навантаженні..... | 74 |
| 4.2. Дослідження впливу умов спікання полікристалів на міцність на розтяг при діаметральному стиску..... | 80 |
| 4.3. Висновки до розділу 4 | 81 |
| 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ “АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ”..... | 82 |
| 5.1. Опис ідеї проекту | 82 |
| 5.2. Технологічний аудит ідеї проекту | 84 |
| 5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту | 85 |
| 5.4.Розроблення ринкової стратегії проекту | 92 |
| 5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту..... | 94 |
| 5.6. Висновки до розділу 5 | 98 |
| ВИСНОВКИ..... | 99 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 100 |
| Додаток..... | 105 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ПК – персональний комп'ютер;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

СФГ–катушка – сфероконічна градієнтна катушка;

БКП–блок керування прискорювачем;

ПВШ–прилад вимірювання швидкості;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

ПУ–пристрій узгодження;

ТКО – термокомпресійна обробка;

БСВ – безперервне спікання у вакуумі.

Вступ

Актуальність теми. Тверді сплави широко відомі, як стійкі до руйнування, дуже тверді та міцні металеві матеріали, які складаються з карбідів заліза, титану, вольфраму, танталу, хрому.

Цим карбідам притаманна висока твердість. Самі по собі карбіди не можуть утворити міцних компактних виробів через їх крихкість, тому для їх зв'язки використовують кобальт, нікель, залізо.[1]

Тверді матеріали використовуються у таких галузях, як приладобудування та машинобудування. З металокерамічних сплавів виготовляють дрібні різальні пластини для фрези, свердла, розгортки, а також, для армування штампів, у вигляді фільтрів для волочіння та пластинок до різального інструменту та інструменту для бурів (при бурінні гірських порід). Алюмінієві, титанові та металокерамічні сплави використовуються у військовій галузі, а саме для виготовлення бронепластин.

Дослідження поведінки металів і сплавів при високошвидкісному деформуванні представляють великий науковий і практичний інтерес у зв'язку з розвитком ряду галузей нової техніки, а також у зв'язку з розробкою й впровадженням у промисловість нових перспективних технологічних прийомів обробки матеріалів.

У процесі обробки різальний інструмент сприймає як статичне так і динамічне навантаження. Наявність різних конструкційних елементів у деталях: отворів, шліців, уступів і т.д., приводить до ударного навантаження різального інструменту при їх обробці. Динамічна складова сили різання може в 1,5-2 рази перевищувати статичну. Такі умови обробки дуже небезпечні для інструменту, що оснащений твердосплавними або алмазно-твердосплавними пластинами. Для прогнозування працездатності інструментів, що працюють у таких умовах, необхідно робити випробування інструментального матеріалу в умовах, максимально наближених до реального процесу обробки різанням [2].

Для збільшення та для розширення сфери застосування необхідно, щоб швидкість динамічних навантажень зроста до 10 м/с. Це дозволить удосконалити перевірку твердого сплаву від різальних пластин до втулок у турбінах на атомних станціях. Для цього було прийняте рішення дооснастити копер електромагнітним прискорювачем, або "Гаусс Ганом"(від англ. Gauss gun). Він має досить високий у порівнянні з іншими електромагнітними прискорювачами ККД і може працювати на низьких напругах. Крім того, електромагнітний прискорювач незважаючи на свою простоту, має неймовірно великий простір для конструкторських й інженерних рішень - так що цей напрямок досить цікавий та перспективний

Актуальність даної дипломної дисертації полягає у розробці автоматизованої системи досліджень характеристик міцності нових інструментальних і конструкційних матеріалів.

Зв'язок роботи з науковими роботами, планами, темами.

Дана дисертаційна робота виконувалась у співпраці з "Інститутом надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля" у відповідності з пріоритетними напрямами розвитку науки і техніки в Україні. Даний науковий інститут має всі необхідні лабораторні установки та прилади для проведення дослідження. Дисертаційні дослідження виконувались в рамках ініціативної теми № 0118 U 004225 від 19.03.2018 р.

Мета і завдання дослідження. Метою даної дипломної дисертації є розробка автоматизованої системи контролю характеристик міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні на базі установки «Копер».

Для досягнення відповідної мети потрібно вирішити наступні задачі:

1. Огляд стану проблеми та актуальність роботи;
2. Огляд методів та засобів для контролю міцності матеріалів при динамічному навантаженні;
3. Виконання модернізації установки контролю міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні за рахунок оснащення її електромагнітним прискорювачем;

4. Розроблення принципової схеми запуску електромагніту;
5. Виконання автоматизації установки за допомогою високошвидкісного аналого–цифрового перетворювача;

9. Застосування методики Кольського на основі мірних стержнів Гопкінсона для визначення енергетичних характеристик процесу руйнування крихких матеріалів;

1. Встановлення залежності границі міцності на розтяг при діаметральному стиску інструментальних композитів на основі КНБ від вмісту алюмінію та дибориду титану TiB_2 .

2. Розробка стартап-проекту.

Об'єктом випробувань являються – автоматизована система контролю на базі вертикального копра зі стрижнями Гопкінсона-Кольського оснащена електромагнітним прискорювачем.

Предметом дослідження є визначення характеристик міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні.

Методи дослідження. Методика Кольського з застосуванням розрізних стрижнів Гопкінсона–Кольського на яку покладена одномірна теорія поширення пружних хвиль у довгих тонких стрижнях.

Наукова новизна:

1. Вперше було застосовано методику Кольського на основі мірних стержнів Гопкінсона для визначення енергетичних характеристик процесу руйнування крихких матеріалів.

2. Вперше було встановлено залежність границі міцності на розтяг при діаметральному стиску інструментальних композитів на основі КНБ від вмісту алюмінію та дибориду титану TiB_2 .

Практичне значення

Була розроблена система контролю характеристик міцності крихких матеріалів, яка пройшла апробацію при дослідженнях міцності твердих сплавів та надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору. Розроблена система застосовується для визначення характеристик нових інстру-

ментальних та конструкційних матеріалів, які розроблюються в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля. Проведення автоматизації системи дозволило значно скоротити час необхідний на проведення досліджень.

Апробація результатів. Результати дисертаційних досліджень доповідались на наступних конференціях:

- X міжнародна науково-практична конференція 16-17 травня 2017 року, Київ, Україна. – К.: НАУ, 2017;

- X Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Погляд у майбутнє приладобудування 16-17 травня 2017 року, Київ, Україна. – К.: НТУУ КПІ, 2018;

- XVII міжнародної науково-практичної конференції «машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» 01 - 03 листопада 2017 р. м. Чернівці

- патент України на корисну модель №u201711007, заявл. 10.11.17;

- 6-я международная самсоновская конференция “материаловедение тугоплавких соединений” 22-24 мая 2018 року, киев, україна - к.: нтуу кпі, 2018;

- Сімнадцята міжнародна науково-технічна конференція “приладобудування: стан і перспективи” 15 - 16 травня 2018 р., м. київ, україна - к.: нтуу кпі, 2018;

- XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Погляд у майбутнє приладобудування 15-16 травня 2018 року, Київ, Україна. – К.: НТУУ КПІ, 2018.

Публікації. За матеріалами дисертації було подано заявку на отримання патенту України на корисну модель, опубліковано 2 статті (одна у фаховому виданні) та 5 тез доповідей.

1. ОПИС ТА ВИДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УСТАНОВОК

За умови, якщо вироби піддаватимуться швидковиникаючим напрузі і ударам, то випробування зразків статичним навантаженням не дають спроможності робити висновки про схильність до крихкості матеріалу, з якого вони виготовлені, тому випробування матеріалів на стиск, вигин, розтяг та кручення під дією повільно і поступово зростаючого статичного навантаження неповністю характеризує їх властивості [3].

Для багатьох металів буде особливо небезпечне незначне швидкодiюче навантаження через яке, під впливом певних динамічних умов, вони можуть переходити в крихкий стан. Саме через те, в багатьох технічних умовах обумовлюється необхідність випробувань матеріалу на міцність при динамічному навантаженні. Цей вид випробувань потрібний з тієї причини, що деякі металеві матеріали, виявляються крихкими при динамічному впливі, особливо при знижених температурах, а при статичних навантаження достатньо пластичні. Для перевірки матеріалів на міцність, зазвичай, використовують установку під назвою копер.

1.1. Класифікація копрів

Копри за своєю конструкцією поділяються на:[4]

1. Ротаційні копри. Зразок на копрах такого типу піддається ударному руйнуванню при вигині, розтягуванні або закручуванні при значних швидкостях.

2. Маятникові копри з горизонтально і вільно лежачим зразком на двох опорах, з вертикально розташованим зразком, затиснутим одним кінцем в лещатах, змішаній конструкції, що дозволяє випробовувати як горизонтально, так і вертикально встановлені зразки.

3. Вертикальні копри з вільно падаючим вантажем. Зразок в цих копрах або непорушно встановлюється на опори (ковадло) та, згинаючись, руйнується падаючим вантажем.

1.2. Ротаційні копри

Ротаційні копри застосовують для випробування зразків при ударному розриві, закручувані або вигині, швидкість яких переважає швидкість, встановлених відповідно до стандарту. Швидкість ударного бивня досягає 300 м/сек [4].

Схему ротаційного копра конструкції Ф. Ф. Вітмана для дослідження зразків при ударному вигині зображено на рис.1.1.

На сталевій рамі 1, яку закладено у фундаменті і складається з диска 2, що обертається на валу із швидкістю 300 – 6000 об/хв. встановлено копер. В ободі диска, який має діаметр 320 мм, кріпиться змінний бивень 3.

Стробоскопічний тахометр використовується для того, щоб виміряти швидкість обертання диска. За допомогою пружинного пристрою 6 відбувається подача зразка 4 до опори 5 під бивень, який обертається.

Заздалегідь підібрана пружина 7 опускається рукояткою 8 таким чином, що при підйомі рукоятки лівий кінець важеля 9 натикається з ексцентриком 10, який обертається на валу диска 2.

Ліве плече важеля 9 піднімає ексцентрик 10. Після чого його праве плече опускається і звільняє клямку в пружини 7, яка миттєво (менше ніж за 0,05 сек.) випихає зразок 4. до опор 5.

Відносно осі бивня на необхідний кут випередження для синхронної подачі зразка регулюється кутовий зсув радіуса ексцентрика 10.

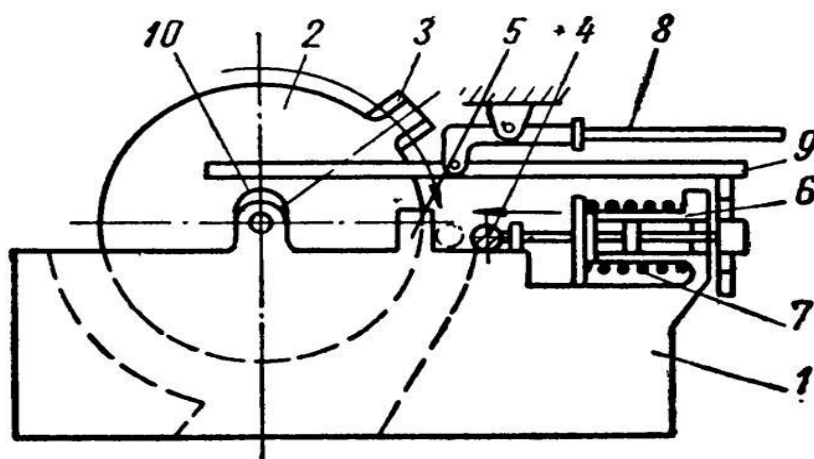


Рисунок 1.1. Копер Ф.Ф. Вітмана

Для випробування надрізаних посередині зразків використовується бивень з двома виступаючими паралельними гранями на відстані 16 мм між їх вершинами (щоб не зробити вм'ятин в перетині з надрізами).

Для дослідження надрізаних або гладких зразків (рис.1.2) використовують бивень з однією ударною гранню, що закруглена радіусом 1,5 і заточена під кутом 60° .

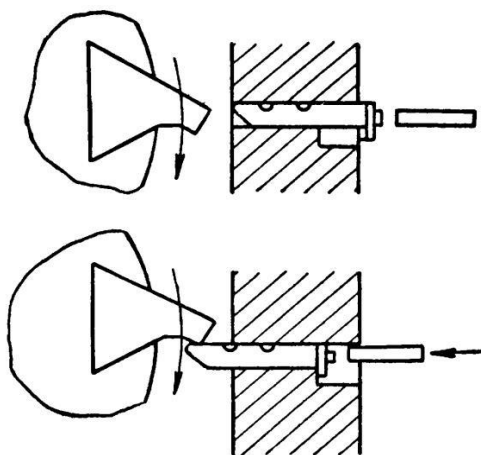


Рисунок 1.2. Схема іспитів на копрі Ф.Ф. Вітмана

Деформація зразка характеризується після зламу: і вимірюється кут пластичного вигину в гладкого зразка (рис.1.3, а) і спотворення перетину в надрізаних зразків (рис.1.3, б). Обертаючими ротаційними копрами для

ударних випробувань, називають копри при яких циліндровий зразок крутиться довкола своєї осі.

Результатом даних випробувань визначається кут закручування між голівками після зламу та вимірюється величина роботи, витраченої на руйнування зразка.

Для того, щоб визначити зміну кута закручування у часі, а також безпосередньо виміряти обертаючий момент, що виникає в зразку у деяких машинах застосовують вимірювальні пристрої.

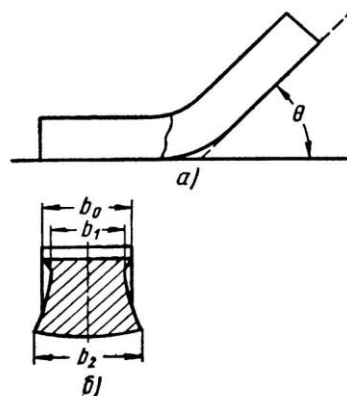


Рисунок 1.3. Зразок деформований після випробування

За своєю конструкцією високошвидкісні ротаційні копри Рк–750 і Рк–150 конструкції «СКБІМ» є однаковими.

Застосована робота, на злам зразка, обчислюється за формулою:

$$A = J \cdot \omega_0 \cdot \omega ; \quad (1.1)$$

де J – момент інерції балістичного маховика (кгм/с^2);

ω_0 – кутова швидкість балістичного маховика;

ω – кутова швидкість робочого маховика в момент удару в (рад/с);

Кутові швидкості балістичного і робочого маховиків визначаються по формулі:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{60} ; \quad (1.2)$$

де n – число обертів маховика в хвилину.

Таблиця 1.1. Характеристика ротаційних копрів

| Марка ротаційних копрів | Найбільший обертаючий момент (кГм) | Граничне число обертів маховика в хвилину | Найбільша відстань між захватами(мм) | Найбільший запас кінетичної енергії (кГм) | Найбільший діаметр зразка для випробування | Потужність електродвигуна (кВт) |
|-------------------------|------------------------------------|---|--------------------------------------|---|--|---------------------------------|
| РК-150 | 150 | 5000 | 150 | 20500 | 20 | 2,8 |
| РК-750 | 250 | 3000 | 300 | 63000 | 50 | 7,0 |

Займана площа копром РК-150: 870×2000 мм, висота 1380 мм; РК-750: 1300×2800 мм, висота 1400 мм

1.3. Маятникові копри

Зразки найчастіше випробовуються на маятникових копрах для оцінки механічних якостей матеріалу відносно його схильності до крихкості при нерівномірному розподілі напруг. У випробуванні бере участь один удар важкого вигинаючого молота [5] .

Сприяння передчасного руйнуванню матеріалу в місцях перехідного перетину і полегшення прояву крихкості зумовлене наявністю різкого переходу в перетинах виробів і деталей. З метою ускладнити пластичну деформацію і викликати при навантаженні різку неоднорідність напруги,

щоб тим самим полегшити схильність матеріалу до переходу в крихкий стан, у зразків з металу і пластичних мас робиться посередині надріз [6].

Чим ширший зразок, глибше і гостріше надріз тим різкіше буде вплив при вигині.

Значне значення має глибина, виконання надрізу і форма. Чим грубіше глибше і чим гостріше надріз зроблений, тим менше значення ударної в'язкості виходить з зразка при випробуванні.

Дослідження на маятникових копрах нормовані такими, що діють стандартами для зразків дерева, ебоніту, металу і пластичних мас органічного походження. Тим самим визначається показник крихкості або ударна в'язкість.

Під час випробування зразок кладуть так, щоб надріз був обернений убік, протилежну до удару, тобто вільно на опори копра і одним ударом важкого маятника піддають зламу; при цьому зразок встановлюється так, щоб надріз був розташований симетрично відносно опор.

Характеристикою механічної в'язкості матеріалу є найдена ударна в'язкість, яка дорівнює роботі, що затрачається для ударного зламу на копрі зразка з надрізом встановленого типу, віднесеної до робочої площі поперечного перетину зразка (у місці надрізу). Робота відноситься до поперечного перетину зразка, якщо не робиться надріз на зразку.

Маятниковий копер на 1,5; 5; 10; 15; 25 або 30 кГм складається з чавунної станини у вигляді фундаментної плити з двома вертикальними стійками. Верхня частина стійок підвішена на горизонтальній осі 2, закріплено важкий маятник 3 в шарикопідшипниках. Цей маятник є сталевим плоским диском з вирізом, в якому поміщений сталевий загартований ніж 4, що служить ударником при випробуванні.

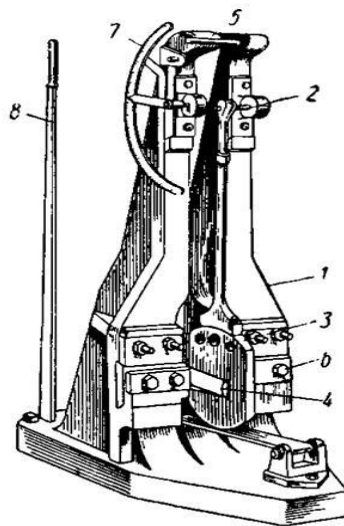


Рисунок 1.4. Маятниковий «Копер»

На початку випробування маятник піднімається вручну на кут α , у верхнє вихідне положення a (рис.1.6) і стримується в цьому зведеному положенні клямкою 5 (див. рис.1.5).

Зразок поміщають горизонтально на дві сталеві загартовані опори 6 пригвинчені внизу в стійок станини. Ці опори є пересувними в горизонтальній площині і дозволяють робити налаштування прольоту стосовно різних розмірів зразків. Установка опор і прокладок для зразків, що мають перетин 300×30 мм і 10×10 мм, виробляється за схемою, яка наведена на рис.1.7; при цьому пара тонших прокладок застосовується для зразків, що мають перетин 30×30 мм, і пара більш товстих – для зразків перетином 10×10 мм [7].

Після спуску клямки молот маятника вільно падає, проходить через точку b , де перпендикулярно площині схеми (рис.1.6) знаходиться зразок для випробування, ламає його своїм ножем і злітає на деякий кут β , піднімаючись на висоту h , відповідну положенню c . Цей підйом наголошується стрілкою на градуйованій шкалі 7 (рис.1.5).

На злам зразка маятник витрачає певну роботу, тому кут β завжди менше кута α . Якби на дорозі маятника не було зразка, то він злетів би на

кут β який також завжди менше кута α , за рахунок втрат енергії маятника на подолання сил тертя.

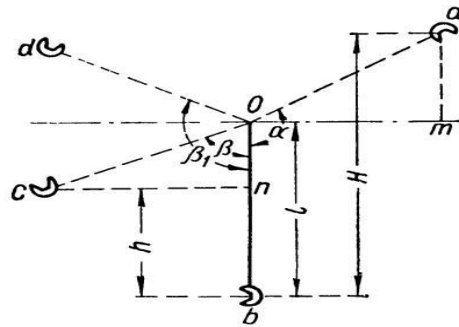


Рисунок 1.5. Схема роботи маятникового копра

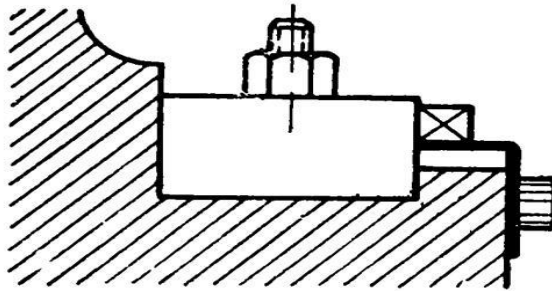


Рисунок 1.6. Встановлення опор та прокладок маятникового копра

Якщо позначити через Q вагу маятника, то при початковій висоті підйому H його центру тяжіння запас енергії буде визначатися $A = Q \cdot H$.

З допоміжного трикутника Q_{am} можна висоту H виразити через довжину маятника l , тоді запас енергії буде рівний

$$A_1 = Q \cdot l(1 - \cos \alpha); \quad (1.3)$$

Залишок запасу енергії після зламу зразка складе відповідно:

$$A_1 = Q \cdot l(1 - \cos \beta); \quad (1.4)$$

Робота, витрачена на злам зразка і на втрати при ударі, вочевидь, дорівнює різниці між запасом енергії і її залишком, тобто:

$$A_k = A_1 - A_2 = Q \cdot l(1 - \cos \alpha) - Q \cdot l(1 - \cos \beta) = Q \cdot l(\cos \alpha - \cos \beta) \quad (1.5)$$

Таблиця 1.2. Характеристика маятникових копрів

| | | | | |
|--|------|------|------|------|
| Запас енергії у копрів ,кГм | 10 | 30 | 75 | 250 |
| Висота копра ,мм | 1700 | 2000 | 2200 | 3800 |
| Відстань, яка необхідна для вильоту маятника, мм | 1600 | 1900 | 2200 | 3500 |
| Вага копра, кг | 230 | 430 | 1300 | 2150 |

1.4. Вертикальні копри

Визначення опору удару зразка є найбільш простим випробуванням, покладеного на ковадло або на дві опори, під дією падаючої із заданої висоти вантажу певної ваги [8]. Технічними умовами на виріб встановлено число ударів вантажу, яке повинен витримати зразок без зламу або до певного кута вигину. Інколи зразок випробовується на руйнування з зазначеним необхідного для цього числа ударів. В тому випадку, якщо необхідно визначити роботу деформації зразка, рівну

$$A = G \cdot h \quad (1.6)$$

де G – вага падаючого вантажу в кілограмах;

h – висота його падіння в метрах.

Вертикальні копри забезпечуються спеціальними пристроями для виміру роботи деформації.

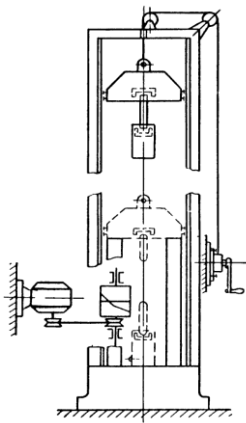


Рисунок 1.8. Вертикальний копер з контрбабою

Вимір роботи деформації зразка виробляється двома способами:

- по різниці запасу енергії вантажу до удару та надлишку енергії вантажу залишеної після удару. Для виміру швидкості падіння вантажу у вертикальних копрах застосовують спеціальні пристрої. Звичайна висота копрів становить 6 метрів, хоча відомі копри з висотою падіння 10–12 метрів;
- за допомогою механічного виміру швидкості падіння бойка до і після удару по формулі:

$$A = \frac{G}{2 \cdot g} (v^2 - v_1^2); \quad (1.7)$$

де: G – вага баби;

v – швидкість падіння вантажу до удару;

v_1 – швидкість падіння вантажу після удару;

g – прискорення вільного падіння.

Шабот, вага якого повинна бути в 10 раз більша ваги вантажу, на якому встановлені підпорки (або ковадло) виробляються із цільної чавунної відливки. Масивний фундамент глибиною не менш одного метру виготовляють під шабот.

Направляючі виготовляються із залізничних рейсів і тому подібного матеріалу та покриваються графітним мастилом.

З чавуну або сталі вагою 10–1000 кг виготовляють вантаж. Центр її тяжіння росташований як найнижче. При цьому він повинен знаходитись на лінії, яка проходить посередині між направляючими. Ударний бойок виробляється зі сталі і закріплюється хвіст ластівки кліном. Лінія дотику ножа ударного бойку із поверхнею зразка повинна бути перпендикулярна вертикальній осі вантажу, яка проходить через її центр тяжіння. Радіус закруглення бойку у вантажу вагою до 500 кг і вище повинен мати закруглення радіусом 150 мм.

Пристрій для пуску та гальма не повинні впливати на вільне падіння баби і з тим разом повинні застерігати перегортання вантажу після удару, а також повторний дотик зі зразком. Вертикальний копер фірми Амслер з падаючим вантажем ілюстрований на рис. 1.8 складається із двох вертикальних направляючих, утворюючих з двома стойками жорстку рамку, яка прикріплюється до стінки або колонні приміщення, із чавунної плити (шабота), яку встановлюють на бетонній основі, і сталюого змінного бойка вагою 10–100 кг. Підйом вантажу робиться сталюим тросом, лебідкою або ж від ручного приводу, або від електродвигуна.

1.5. Висновки до розділу 1

Для перевірки матеріалів на міцність, зазвичай, використовують установку під назвою копер. Були розгляну ті всі види копрів, які за своєю конструкцією поділяються на: ротаційні, маятникові та вертикальні. Зразок на ротаційних копрах піддається ударному руйнуванню при вигині, розтягуванні або закручуванні при значних швидкостях.

Маятникові копри з горизонтально і вільно лежачим зразком на двох опорах, з вертикально розташованим зразком, затиснутим одним кінцем в лещатах, змішаній конструкції, що дозволяє випробовувати як горизонтально, так і вертикально встановлені зразки.

Вертикальні копри з вільно падаючим вантажем. Зразок в цих копрах або непорушно встановлюється на опори (ковадло) та, згинаючись, руйнується падаючим вантажем.

2. ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

2.1. Магнітний прискорювач мас

Гармата Гауса названа по імені вченого й математика Гауса, на честь якого також названа одиниця виміру магнітного поля. ($10000\text{Гс} = 1\text{Тл}$). У циліндричній обмотці при протіканні через неї електричного струму з'являється магнітне поле. Принцип дії полягає у тому, що магнітне поле, створене котушкою з електричним струмом починає втягувати усередину соленоїда залізний циліндр, який від цього починає розганятися.

Якщо в той момент, коли циліндр виявиться всередині обмотки струм в останній відключити, то магнітне поле, що втягує, зникне й циліндр, що набрав швидкість, вільно вилетить через інший кінець обмотки. Чим сильніше магнітне поле й чим швидше воно відключається – тим сильніше вилітає циліндр [9].

Параметри обмотки, маса та розміри циліндру, параметри конденсаторів повинні бути підібрані таким чином, щоб при розгоні до моменту підльоту циліндру до середини обмотки струм в останній встигав би зменшитися до мінімального значення, тобто заряд конденсаторів був би вже повністю витрачений.

У такому випадку ККД одноступінчастого магнітного прискорювача буде максимальним.

Нижче на рис.2.1 наведена схема конструкції одноступінчастого магнітного прискорювача мас.

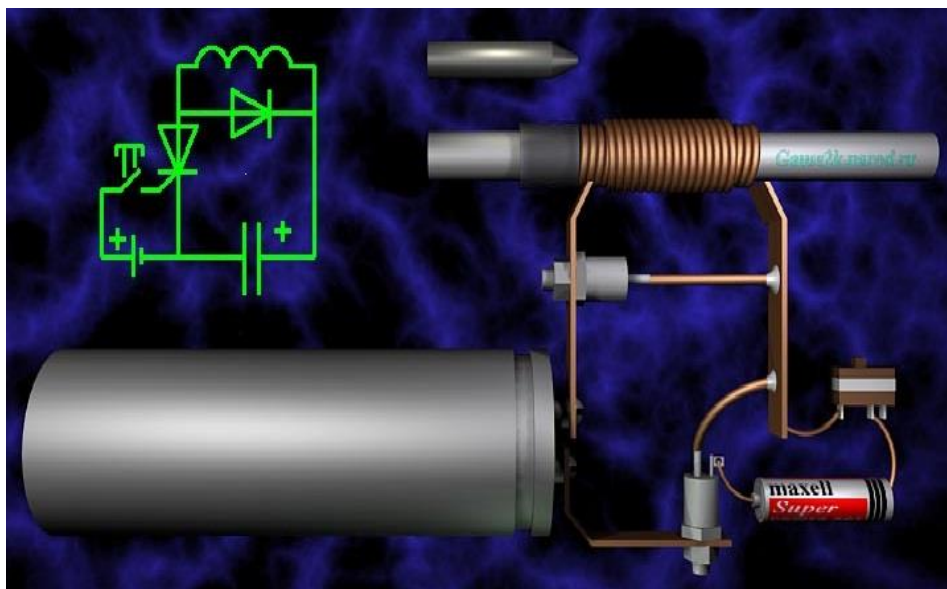


Рисунок 2.1. Схема конструкції одноступінчатого магнітного прискорювача мас

2.2. Різновиди типів прискорювачів мас

Крім електромагнітних прискорювачів, існує ще як мінімум 2 типи прискорювачів мас – індукційні прискорювачі мас (котушка Томпсона) і рейкові прискорювачі мас, відомі як "Рэйл Ганн" (від англ. "Rail gun" – рейкова гармата) [10].

В основу функціонування індукційного прискорювача мас покладений принцип електромагнітної індукції (рис.2.2) У плоскій обмотці створюється швидко наростаючий електричний струм, що викликає в просторі навколо змінне магніт.не поле. В обмотку вставлений феритовий стержень, на вільний кінець якого надіто кільце із провідного матеріалу. Під дією змінного магнітного потоку, що пронизує кільце, в ньому виникає електричний струм, що створює магнітне поле протилежної спрямованості відносно поля обмотки. Своїм полем кільце починає відштовхуватися від поля обмотки й прискорюється, злітаючи з вільного кінця феритового стрижня. Чим коротший та сильніший імпульс струму в обмотці, тим сильніше вилітає і кільце.

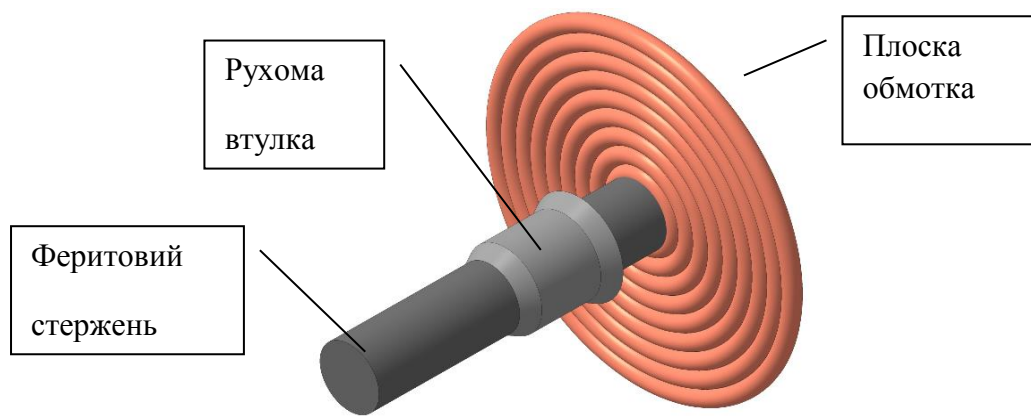


Рисунок 2.2. Індукційний електромагнітний прискорювач

Інакше функціонує рейковий прискорювач мас рис.2.3. У ньому провідний бойок рухається між двох рейок – електродів (звідки й одержав свою назву – рельсотрона), по яких подається струм. Джерело струму підключається до рейок у їх основи, тому струм протікає як би навздогін бойку і магнітне поле, яке утворене навколо провідників зі струмом, повністю зосереджене за провідним бойком. У цьому випадку бойок є провідником зі струмом, поміщеним у перпендикулярне магнітне поле, створене рейками. На бойок за всіма законами фізики діє сила Лоренца, спрямована убік протилежно місцю підключення рейки й прискорює бойок. З виготовленням рельсотрона зв'язаний ряд серйозних проблем – імпульс струму повинен бути настільки потужний і різким, щоб бойок не встиг випаруватися (адже через нього протікає величезний струм), але виникла б прискорювальна сила, що розганяє його вперед. Тому матеріал бойка й рейка повинен володіти як можна більше високою провідністю, бойок як можна меншою масою, а джерело струму як можна більшою потужністю й меншою індуктивністю [11]. Однак особливість рейкового прискорювача в тім, що він здатний розганяти надмалі маси до досить великих швидкостей. На практиці рейки виготовляють із безкисневої міді покритої сріблом, бойки використовують алюмінієві, як джерело живлення – батарею високовольтних конденсаторів, а самому бойку перед входженням на рейки намагаються додати як можна більшу початкову

швидкість, використовуючи для цього пневматичні або вогнепальні установки [8].

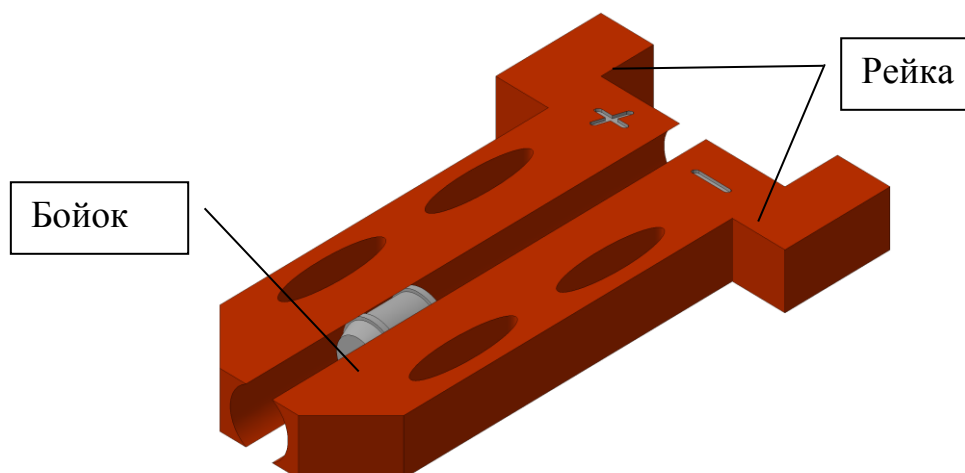


Рисунок 2.3. Рейковий прискорювач

Електромагнітний прискорювач "Гармата Гауса" найбільш простий у виготовленні. Він має досить високий у порівнянні з іншими електромагнітними прискорювачами ККД і може працювати на низьких напругах." Гармата Гауса ", незважаючи на свою простоту, має неймовірно великий простір для конструкторських рішень й інженерних вишукувань .

2.3. Багатоступінчастий магнітний прискорювач

Незважаючи на те що ККД одноступінчатого гаус гана порівняно з іншими прискорювачами є більш–менш оптимальним для нас, все ж таки можна добитися кращих результатів шляхом використання багатоступінчастих систем (рис 2.4). Отже бачимо, що перспективно робити багатоступінчастий магнітний прискорювач – кожна наступна ступінь(ланка) буде мати більш високим ККД, ніж попередній завдяки збільшенню швидкості бойка [12].

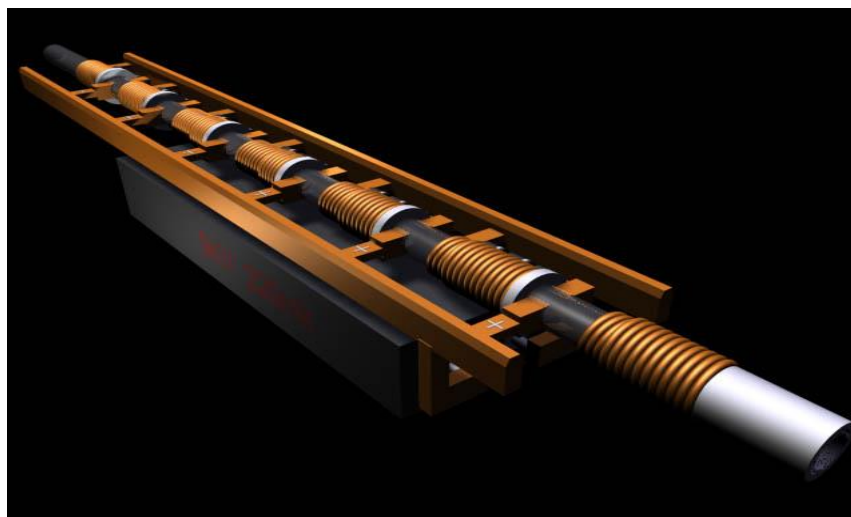


Рисунок 2.4. Схема багатоступінчастого прискорювача мас

Але ця ситуація двобічна. Справа в тому, що при малому часу перебування бойка в зоні ефективної дії прискорюючого магнітного поля потрібно якомога швидше встановити в соленоїді струм потрібної величини, а потім його відключити, щоб уникнути непотрібних витрат енергії. Усьому цьому перешкоджає індуктивність котушки і вимоги до параметрів комутаційних пристроїв.

Вирішити цю проблему можна безліччю різних способів – використовувати різні обмотки збільшуючи довжини при постійній кількості витків – індуктивність буде нижчою, а час прольоту через них бойка не набагато більше, ніж у попереднього ступеня.

Коли бойок пролітає через обмотку швидше оптимальної швидкості, тоді відбувається гальмування – зменшення його швидкості. Пролітає занадто повільно—магнітне поле вже вимкнулося, а бойок ще не досягнув точки, де магнітне поле в соленоїді має максимальну щільність – маємо недобір енергії. При чому розбіжність хоча б на одній ланці викличе не своєчасність появи бойка на всіх наступних ланках – в результаті за найменшого відхилення потужність такого магнітного прискорювача буде малою. І тільки при 100% налаштуванні, 100% однаковому заряді конденсаторів перед запуском буде розвиватися потрібна потужність [13].

Щоб зробити ефективний багатоступінчастий магнітний прискорювач мас, не особливо критичний до його налаштування, потрібно забезпечити кілька важливих умов:

- Використовувати одне спільне джерело живлення обмоток;
- Використовувати синхронне з рухом бойка включення і виключення обмоток;
- На різних щаблях використовувати різні обмотки;
- Використовувати бойок не дуже великої маси і високу напругу живлення.

Багатоступінчастий магнітний прискорювач, зібраний за подібною схемою, буде мати дуже високий ККД.

2.4. Проблеми, що виникають в процесі конструювання магнітних прискорювачів

Найбільш гострою в конструюванні магнітних прискорювачів мас, стоїть проблема отримання великої кінетичної енергії снаряда, а точніше – підвищення ККД.

Магнітні прискорювачі мас мають ККД не більш 1% – тобто лише 1 сота частина енергії конденсаторів переходить у кінетичну енергію снаряда. Тому достатньою для ефективної роботи установки енергією володіють лише великі стаціонарні установки, загальною масою від 50 і більше кілограм, які, непридатні для використання у лабораторних умовах. Творці таких великовагових систем люблять знімати на відео процес пробиття багатосантиметрових дощок, рознесення в пил цеглин, намагаючись показати яку потужну силу являє собою гаусган.

Як бачимо проблема в габаритності системи. Тому, природно, було б дуже добре попрацювати над підвищенням ККД пристрою. На одноступінчастої системі цілком реально отримати ККД 4,5%, що значно краще.

Широко відомо, ККД магнітного прискорювача тим вище, чим краще узгоджені параметри соленоїда з параметрами конденсаторів і параметрами бойка. Тобто при пострілі до моменту підльоту бойка до середини обмотки струм в котушці вже близько до нуля і магнітне поле відсутнє, не перешкоджаючи бойку вилітати з соленоїда. Однак на практиці отримати таке вдається рідко – найменше відхилення від теоретичного ідеалу різко знижує ККД.

Інша енергія конденсаторів, втрачається на активному опорі проводів, а так як питомий опір міді обмежений, то зменшити втрати на активному опорі практично не можна, але все таки можливо за рахунок варіювання параметрів котушки.

Як відомо, потужність втрат зростає пропорційно квадрату струму. Бойок прискорює магнітне поле, величина якого визначається струмом і індуктивністю котушки. Так як збільшувати струм не дуже бажано, але потрібно потужне магнітне поле, та ще й обмежене за часом існування, то можна вчинити слідуєчим чином. Довжину соленоїда можна збільшити, при цьому зросте кількість витків і його індуктивність, але так як довжина соленоїда стане більшою, час імпульсу теж можна збільшити. При меншому струмі величина магнітного поля буде більше.

Найбільш високий ККД має соленоїд, намотаний тонким дротом у багато витків, з великим діаметром і великою масою сердечника. Таку конструкцію мають всі електромагнітні ударники, що використовуються в скрепкозабивачах та інших електроінструментах і володіють ККД від 25 до 50%. Для використання в магнітному прискорювачі такий варіант не підходить з тієї причини, що бойок володіє великою масою і низькою швидкістю польоту, незважаючи на істотну кінетичну енергію.

Інша крайність – обмотка малого діаметру з товстого дроту в кілька витків і сердечник розміром з обрізок голки.

ККД такого варіанту надзвичайно низький, зате бойок при пролітанні набуває величезну швидкість. Саме в цю крайність і впираються магнітні прискорювачі мас.

Примітно те, що в обох випадках довжина обмотки особливої ролі не грає вирішальну роль, грає товщина дротів і кількість витків, які, по суті, взаємопов'язані.

Збільшуючи діаметр проводу з метою зменшити його опір, ми неминуче стикаємося із збільшенням діаметру обмотки, що погано позначається на щільності магнітного поля в її середині. З усього вищесказаного випливає, що експериментувати треба не тільки з параметрами обмотки і конденсаторів, а й з параметрами бойка. Є сенс робити діаметр бойка більше, правда за рахунок цього так само зросте його маса, що негативно позначиться на його швидкості польоту.

Дуже добре на ККД може позначитися використання накладок з магнітопровідного матеріалу – це дасть можливість при збільшенні товщини дроту і відповідно геометричних розмірів котушки зберегти щільність магнітного потоку всередині соленоїда постійною. Для цього дуже ефективно використовувати ферритові чашечки, які продаються в будь-яких радіотехнічних магазинах.

Так само необхідно виготовити джерело живлення для заряду конденсаторів, а джерелом первинного електроживлення легко послужить невелика батарея Ni–Cd акумуляторів з 4–6 банок. При малій масі і габаритах (макс. 12x8x2 см) вона зможе забезпечувати швидкість зарядки конденсаторів на енергію до 150 Дж протягом 5–10 секунд, а їх ємності вистачить на кілька сотень випробувань.

Самі конденсатори необхідно оснастити індикаторним світлодіодом для контролю їх заряду.

Немає сенсу при експлуатації установки постійно контролювати напругу конденсаторів за допомогою вольтметра, якщо відомо максимальна напруга перетворювача і час повного заряду конденсаторів.

2.5. Теорія розділених стрижнів Гопкінсона

Точні показники даних матеріалу при великому тиску необхідні для точного моделювання балістичних подій. Тестування цього пристрою генерує цей тип даних. Розділені стрижні Гопкінсона складаються з ударної зони стрижня, суміжної зони, зразку тесту, і вихідної зони. Прямокутна стисла хвиля певної амплітуди та довжини генерується в суміжній зоні при натисканні на неї ударної зони. Коли хвиля досягає зразка, частина хвилі передається через нього, а частина відбиваючись проходить через суміжну зону. Один такий вимірювальний хвильовий аналіз розповсюдження визначає криві показника високої напруги, що подається згідно вимірних напруг в суміжній і вихідній зонах [14].

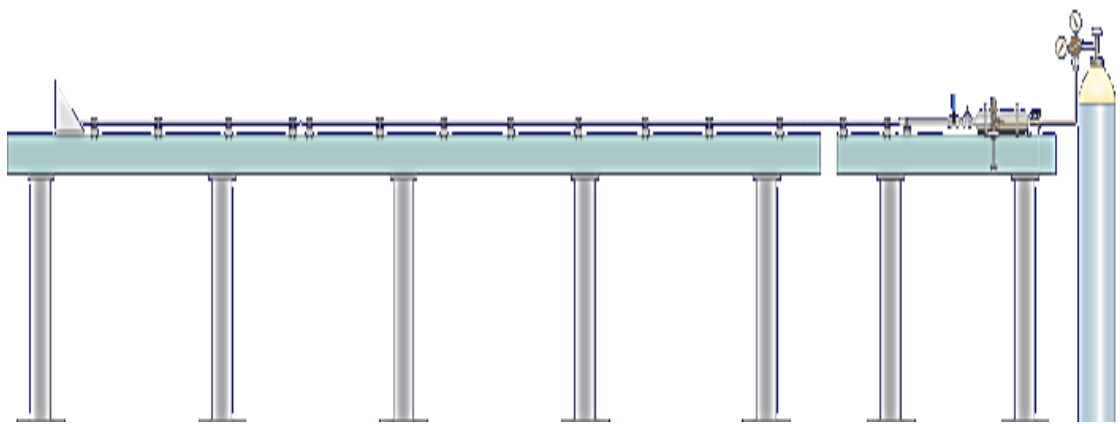


Рисунок 2.5. Ілюстрація приладу SHPB

Технологія розділених стрижнів Гопкінсона використовується для вимірювання подаваної напруги-відповідного навантаження матеріалів при високих показниках тиску, звичайно в діапазоні 10^2 – 10^4 с⁻¹. Метод РСГ базується на поширенні гнучких хвиль тиску в твердих речовинах. Рисунок 2.5 – схематична ілюстрація приладу SHPB. Коли бойок, розганяється до швидкості зазвичай від 2,5 до 10 м/с, вдаряє зовнішню сторону одного з кінців суміжної частини стрижня, генерується концентрована ударна хвиля, яка поширюється по стрижні до тих пір, поки не досягає стику між стрижнем і взірцем. На стику, частина ударної хвилі відбивається як імпульс напруженості, тоді як інша частина проходить через зразок на

стрижень передавача. Згенероване пульсування напруги записується на станціях вимірювача напруги 1 і 2. Подаюча напруга, отримана напруга, і показник напруги в зразку можуть бути обчислені по вимірюванні значень у стержнях тиску [15].

В Інституті Науки Матеріалів використовується надтверда сталь (AISI 4340) і алюміній (AA 7075), стрижень має розмір 22 мм в діаметрі і 1200 мм в довжині. Тестується широкий ряд матеріалів, включаючи, покриття полімеру паперових машинних реєстрів, сталеві труби для автомобільних потреб, сталі для військових цілей тощо.

Для запису сигналів вимірювача напруги використовується 10 цифрових осцилографів, Yokogawa DL 708 10/12–Біт. В якості запускаючого сигналу ми використовуємо сигнал з оптичного сенсора прикладеного до трубки пускової установки.

Всі три оптичних сенсора включені до трубки пускової установки, щоб полегшити вимірювання та обчислення швидкості бойка.

В якості підсилювачів вимірюваної напруги ми використовуємо послідовні формувачі сигналів Kuowa CDV 700A, що мають ширину смуги частот 500 кГц. Далі цифровий осцилограф підключений до ПК, де відбуваються всі обчислення, використовуючи Matlab.

Завантаження бойка, герметизація акумулятора тиску і запуск бойка повністю управляється комп'ютером.

2.6. Котушка електромагнітного прискорювача

Існує вид катушок, що різко підвищують ККД гауса. Вони мають аббревіатуру СФГ. Давайте зупинимося на них. Головна відмінність звичайних і СФГ–катушок полягає в їхній формі [16].

Ілюстрація СФГ – катушки представлена на рис. 2.6.

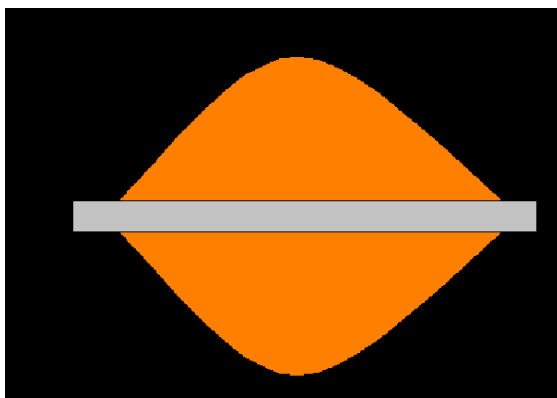


Рисунок 2.6. СФГ котушка

Ось так вона приблизно і виглядає. Помаранчева область—сама котушка, сіра область – стовбур, на якому вона і намотана. Розглянемо процеси, що відбуваються з бойком в такій котушці. Спочатку напруга на котушці максимальна, а потім спадає за законом зворотним до експоненти. Розгін бойка відбувається більш рівномірно, ніж у звичайній котушці. Коли напруга висока, витків навколо бойка мало, а коли низька – більш ніж достатньо. У результаті сила, що розганяє бойок, більш постійна. Одна з особливостей електромагнітного прискорювача – якщо розганяти бойок рівномірно, то ККД високий, але низька швидкість і велика маса, а якщо ривком—то ККД занадто малий. Тут ККД вище, хоча йому і віддається частина потенційної ефективності. Але зростання ККД з лишком покриває це. Для звичайної котушки довжини бойка та котушки рівні, а для СФГ – котушки, довжина бойка дещо менша довжини котушки. Це викликано тим, що поле у неї слабкіше по краях.

Тепер відведемо нашу увагу на технічну сторону справи.

Намотувати СФГ–котушку потрібно так само як і звичайну котушку. Для початку потрібно намотати в 3 шари виток до витка – як основу. Довжина кожного наступного шару дорівнює довжині попереднього, як і у звичайній котушці. Це основа.

Вона має циліндричну форму. Тепер наступні шари намотуємо так, щоб зовнішні були коротші внутрішніх. Не можна забувати і про ізоляцію.

Через кожен шар потрібно робити ізоляцію. Готова котушка просочується лаком. Діаметр котушки повинен бути не більше 1.5 довжин її ж самої.

Необхідні формули для розрахунку багатоступінчастих систем:

Позначення:

O—щільність заліза = 7500 кг/м³;

B— індукція насичення заліза = 2 Тл;

O₁—провідність міді = 6 * 10⁷ ом–1м–1;

L— довжина ступені (сердечника, котушки);

r₁— внутрішній діаметр котушки;

r₂ — зовнішній діаметр котушки;

s — площа перетину дроту обмотки;

S — площа перетину рухомого сердечника;

N — число витків обмотки;

D — довжина дроту обмотки;

R — опір обмотки;

U — напруга на обмотці;

I = U / R — струм обмотки;

C — ємність конденсатора;

O₂ = RC — стала часу розряду.

Електричні формули:

Число витків: $N = \frac{\pi}{4}(r_2 - r_1) \frac{L}{s}, \frac{\pi}{4}$ — облік круглого перерізу дроту;

Довжина обмотки: $D = \frac{\pi}{4} \pi(r_2 - r_1) \frac{L}{s} = \pi N(r_1 r_2) ;$

Опір обмотки: $R = \frac{D}{O_1 s} = \frac{\pi N(r_1 r_2)}{O_1 s}, N = \frac{\pi}{4}(r_2 - r_1) \frac{L}{s} .$

Магнітні формули:

Магнітне поле ідеального соленоїда: $H = \frac{NI}{L}$;

Втягуюча сила ідеального соленоїда: $F = BHS$;

Втягуюча сила реального соленоїда: $F = \frac{BHS}{3}$.

Головна формула:

Прискорення сердечника: $a = \frac{BNI}{3OL_2} = BU \frac{sO}{3\pi OL_2(r_1 r_2)} = KMU$.

Хочу відразу зауважити, що прискорення є одним з основних параметрів даної конструкції.

Від нього залежить кінцева швидкість бойка і довжина випробуваного стиржня.

$$\text{де } K = \frac{B}{3\pi O} = 1700 \left[i^2 B^{-1} \zeta^{-2} \right]$$

Як правило, ми використовуємо мідні дроти і залізний сердечник, тому розумно позначити величину, яка визначається властивостями цих матеріалів, якоюсь буквою для стислості.

$$\text{Коефіцієнт геометрії ланки: } M = \frac{s}{L_2(r_1 r_2)}$$

Кожна ланка має свої розміри, значить, і властивості, що визначаються ними, постійні для однієї ланки.

Їх я теж позначив однією буквою.

$$\text{Тепер згадуємо, що } U = U_0 e^{-\frac{t}{O_2}}$$

$$\text{Прискорення } a(t) = KMU_0 e^{-\frac{t}{O_2}}$$

Два інтеграла:

$$\text{Швидкість } V(t) = V(0) + KMU_0 O_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{O_2}} \right)$$

$$\text{Координата } x(t) = x(0)V(0)t^2/2 KMU_0 O_2 \left(t - O_2 \left(1 - e^{-\frac{t}{O_2}} \right) \right)$$

Граничні умови: $x(0)=0$, $x(O_2)=L$

Це вирішувалося вже чисельно, ітераціями.

Таким чином структурна схема [17] буде виглядати так ,як показано на рис. 2.6.

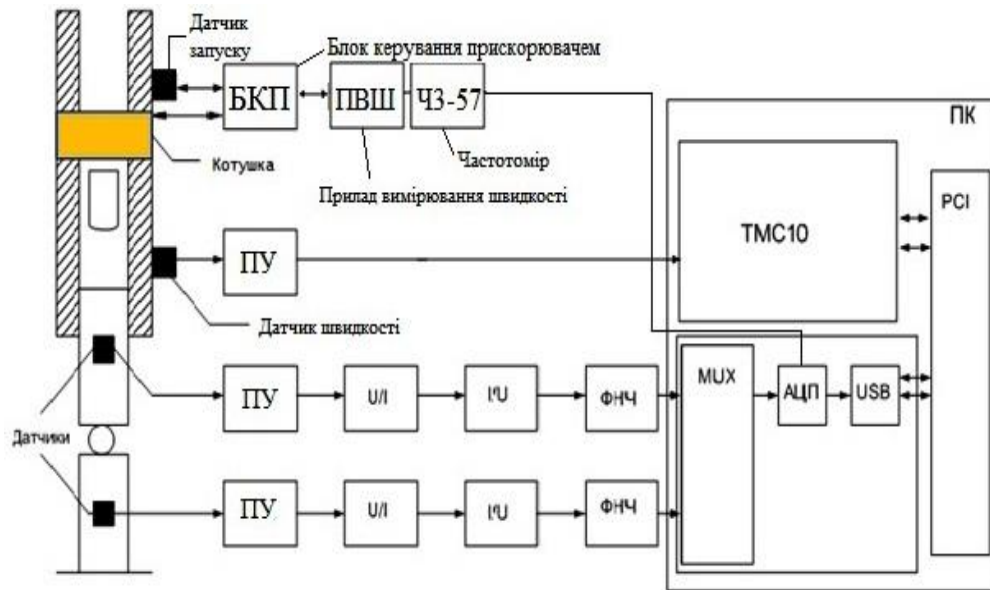


Рисунок 2.7. Структурна схема прискорювача

Структурна схема виконана з послідовно включених ланок.

Ця структурна схема найбільшою мірою задовольняє вимогам технічного завдання, оскільки відрізняється простотою реалізації.

Структурна схема складається з датчика (Honeywell AWM 720P1), ПУ–пристрій узгодження, перетворювач напруга – струм (XTR 110), перетворювача струм – напруга (RCV420), фільтр нижніх частот (ФНЧ), таймер–лічильник (ТМС 10), БКП–блок керування прискорювачем, ПВШ–прилад вимірювання швидкості, ЧЗ–57–частотомір, вимірювана величина пройшовши через перераховані елементи надходить на комп'ютер за допомогою АЦП, де в подальшому обробляється за допомогою програмного забезпечення «PowerGraph». Можливості даного ПЗ описуються у наступному підрозділі.

2.7. Опис програмного забезпечення «PowerGraph»

Будь-яка вимірювальна система, побудована на базі персонального комп'ютера, складається з двох частин – апаратної і програмної.

Вибір апаратної частини в наш час вже не є проблемою, тому що на ринку представлений широкий асортимент пристроїв збору даних різних виробників.

Апаратна частина виконує дві основні функції – перетворення сигналів в цифрову форму і передачу даних в комп'ютер, але це лише невелика частина функцій при проведенні будь-яких вимірів[18] .

Значна частка навантаження "лягає на плечі" програмного забезпечення (ПЗ) – управління пристроями і процесом реєстрації, накопичення і зберігання даних, візуалізація, редагування, обробка та аналіз сигналів.

Програмне забезпечення «PowerGraph» – це і потужні функції цифрової обробки та аналізу сигналів, і підтримка широкого спектру обладнання, і простота і наочність інтерфейсу, що поєднуються з ефективним динамічним поданням графічних даних.

Програмний пакет PowerGraph, забезпечує не тільки реєстрацію сигналів, але і повний спектр операцій візуалізації, друку, редагування, обробки та аналізу отриманих даних.

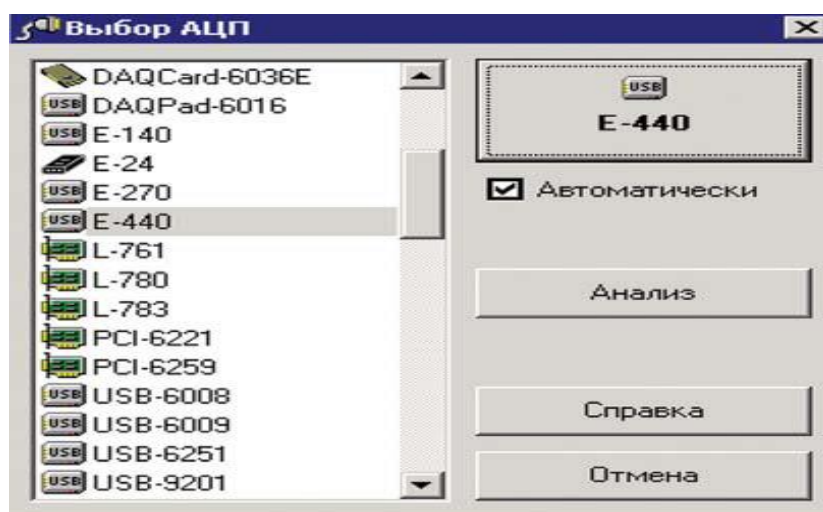


Рисунок 2.8. Меню вибору джерела сигналу

До складу програмного пакета PowerGraph входить постійно зростаюча бібліотека драйверів різних пристроїв Рис.2.7.

Крім підтримки серійної продукції російських і зарубіжних виробників (Л-Кард, Центр АЦП, Сигнал, Aypic, National Instruments, Measurement Computing, Texas Instruments).

Пакет PowerGraph підтримує ряд спеціалізованого обладнання та постачається в його складі як стандартне програмне забезпечення.

Всі програми у складі пакету PowerGraph мають апаратно незалежну архітектуру, індивідуальні особливості і можливості кожного пристрою (наприклад, настройки фізичних входів – однополюсні або диференціальні) реалізовані і доступні на рівні конкретного драйвера.

Крім індивідуальних налаштувань кожного пристрою, PowerGraph включає загальні функції підготовки до проведення вимірювань:

- попередній моніторинг вхідних сигналів,
- вибір оптимального діапазону вимірювань,
- введення індивідуальної назви і одиниць виміру каналу
- проведення калібрування вхідних сигналів для перетворення одиниць вимірювання пристрою в реальні одиниці вимірюваної величини (градуси, кілограми, метри тощо).

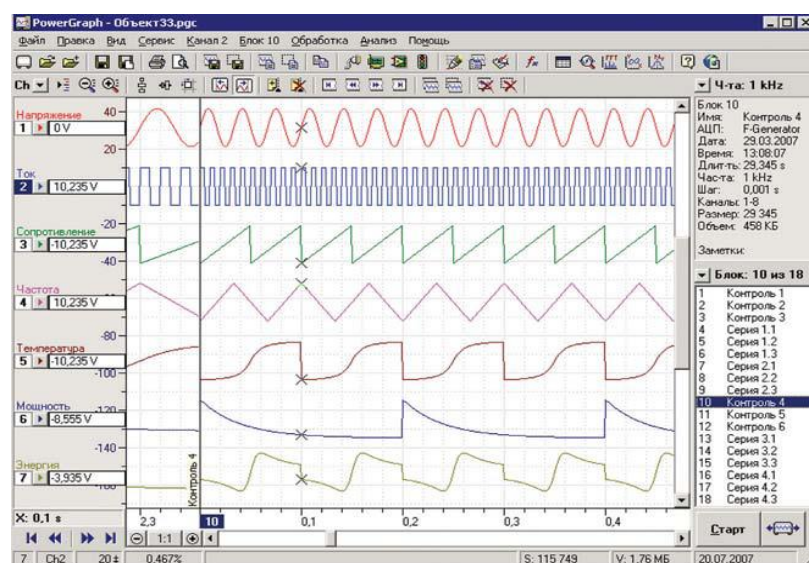


Рисунок 2.9. Головне вікно програми (містить всі необхідні елементи управління, графіки каналів, список і параметри записаних блоків даних)

Загальні настройки реєстрації даних передбачають вибір вільного набору каналів, використання будь-яких частот дискретизації, підтримуваних пристроєм, і так само використання апаратної та програмної синхронізації (лічильники, таймери, за рівнем сигналів із записом перед і пост-історії). Крім реєстрації даних в PowerGraph існує можливість управління додатковими компонентами пристроїв – цифровими і цифро-аналоговими виходами (наприклад, автоматичне керування станом цифрових виходів за рівнем вхідних сигналів).

Реєстрація та редагування даних

На відміну від часто використовуваного в комп'ютерних програмах осцилографічного режиму, програма PowerGraph здійснює запис сигналів на "паперову стрічку" з можливістю прокрутки і перегляду будь-якої її ділянки в будь-який момент часу. Як правило, дослідження складаються з серії вимірів, але в більшості комп'ютерних програм дані кожного вимірювання зберігаються в окремий файл, що в результаті призводить до накопичення великої кількості файлів.

Робота з великою кількістю файлів має ряд незручностей, пов'язаних з численними операціями відкриття, обробки та збереження, а також з розміщенням на екрані графічних даних декількох файлів і перемиканням між вікнами. У програмі Power Graph використовується інший підхід – при кожному запуску вимірювань дані записуються в один і той же файл у вигляді послідовності незалежних блоків.

Користувач має можливість самостійно вирішувати, коли завершити запис поточного файлу, почати запис нового файлу або продовжити реєстрацію даних у вже існуючий файл. Така система запису полегшує роботу з даними, так як серія однотипних вимірів може міститися в одному файлі (наприклад, всі вимірювання за один день або всі вимірювання одного з досліджуваних об'єктів).

Блокова система запису володіє також наступними перевагами: відображення на екрані графічних даних декількох вимірювань, єдиний

масштаб і положення кожного графіка у всіх блоках, можливість наскрізної обробки сигналів по всіх блоках.

Крім графічних даних програма PowerGraph містить список блоків і дозволяє подвійним клацанням на відповідному елементі списку швидко переходити на стрічці запису до кожного з них.

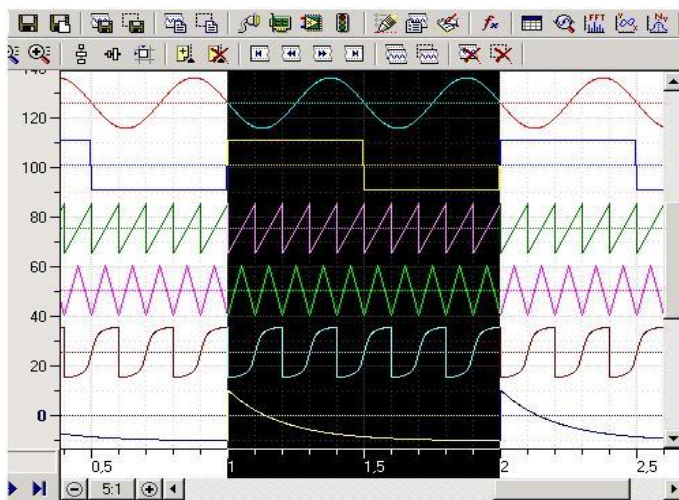


Рисунок 2.10. Виділення частини сигналу в «Power Graph»

Програма PowerGraph дозволяє здійснювати з блоками даних стандартні операції редагування: переміщення блоків відповідно до більш логічної послідовності проведення вимірювань, видалення і дублювання блоків, а також додавання блоків з інших файлів. Програма дозволяє також виділяти довільні тимчасові ділянки сигналів всередині блоку для проведення додаткових операцій редагування – видалення зайвих даних і копіювання виділеної ділянки в новий блок (рис.2.9).

Візуалізація і друк даних

У комп'ютерних програмах зазвичай зустрічаються два основних варіанти візуалізації великої кількості графіків. У першому варіанті всі графіки відображаються на одному графічному дисплеї із загальною шкалою, що істотно ускладнює візуальне сприйняття в результаті накладення графіків один на одного. У другому – кожен графік відображається в окремому незалежному дисплеї, що обмежує простір для його відображення і не дозволяє поєднувати окремі графіки для порівняння.

Програма PowerGraph дозволяє ввести для кожного каналу контрольні рівні, які відображаються на дисплеї у вигляді додаткових горизонтальних ліній, що відповідають вказаним значенням на шкалі амплітуди. Контрольні рівні використовуються для візуалізації можливих або допустимих діапазонів зміни сигналів, а також для визначення точок, в яких амплітуди сигналів досягають заданого значення.

Обробка даних

PowerGraph включає велику бібліотеку функцій математичної та цифрової обробки сигналів. До складу цієї бібліотеки входить більше 200 функцій, об'єднаних в такі категорії:

- копіювання, калібрування і нормалізація сигналів;
- арифметичні та логічні операції з каналами;
- згладжування сигналів з різними ваговими вікнами;
- частотна і амплітудна фільтрація;
- диференціювання та інтегрування ;
- обробка циклічних сигналів;
- обробка сигналів по формулі полінома;
- побудова обвідної амплітудно-модулюючого сигналу;
- тригонометричні, логарифмічні та інші математичні функції.

Більша частина функцій може бути використана безпосередньо в процесі реєстрації для обчислень в режимі реального часу. Процес проведення обчислення в програмі PowerGraph досить простий і схожий на спосіб обчислень за формулами, що використовується в Microsoft Excel.

Аналіз даних

PowerGraph надає можливість обчислення статистичних, диференціальних та інтегральних характеристик сигналів за всіма даними кожного блоку і по виділеній ділянці. Результати обчислення зберігаються в файл разом з вихідними даними у вигляді текстових таблиць значень. Основу будь-якого аналізу даних складають математичні обчислення з табличним представленням результатів, однак у багатьох випадках буває

корисним представити результати обчислень у вигляді додаткових побудов на графіках вихідних сигналів.

Імпорт та експорт даних

Програма PowerGraph надає можливість імпорту та експорту даних в текстовому, звуковому і двійковому форматах (підтримуються двійкові формати, що використовуються різними виробниками обладнання) Рис 2.10. При експорті даних можливий вибір довільного набору каналів, зміна порядку проходження каналів (послідовності стовпців в текстовому файлі), проріджування даних, а також включення додаткової інформації (параметри запису, заголовки стовпців, нотатки та коментарі).

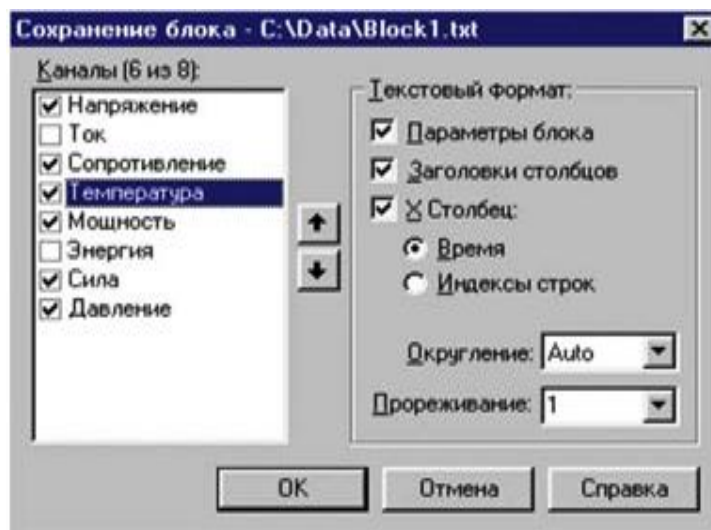


Рисунок 2.11.Збереження блоку каналів в «Power Graph»

У програмі PowerGraph використовується ефективний формат файлів, який дозволяє зберігати велику кількість незалежних блоків, різні настройки візуалізації та реєстрації сигналів, формули обчислень, таблиці розрахункових значень, а також текстові замітки і коментарі користувача.

2.8. Висновки до розділу 2

Для того, щоб удосконалити та покращити роботу копра було використано електромагнітний прискорювач мас. Розглянуто всі типи прискорювачів та вибрано найкращий за властивостями – магнітний прискорювач мас. У циліндричній обмотці при протіканні через неї електричного струму з'являється магнітне поле. Принцип дії полягає у тому, що магнітне

поле, створене котушкою з електричним струмом починає втягувати усередину соленоїда залізний циліндр, який від цього починає розганятися.

Найбільш гострою в конструюванні магнітних прискорювачів мас, стоїть проблема отримання великої кінетичної енергії снаряда, а точніше – підвищення ККД.

Так цього необхідно виготовити джерело живлення для заряду конденсаторів, використати ферритові чашечки та самі конденсатори необхідно оснастити індикаторним світлодіодом для контролю їх заряду.

Технологію розділених стрижнів Гопкінсона було використано для вимірювання подаваної напруги-відповідного навантаження матеріалів при високих показниках тиску.

Програмне забезпечення «PowerGraph» – це і потужні функції цифрової обробки та аналізу сигналів, і підтримка широкого спектру обладнання, і простота і наочність інтерфейсу, що поєднуються з ефективним динамічним поданням графічних даних.

3. МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ УСТАНОВКИ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ЗРАЗКІВ

3.1. Особливості установки для випробувань на міцність при динамічному навантаженні зразків

Дослідження поведінки металів і сплавів при високошвидкісному деформуванні представляють великий науковий і практичний інтерес у зв'язку з розвитком ряду галузей нової техніки, а також у зв'язку з розробкою й впровадженням у промисловість нових перспективних технологічних прийомів обробки матеріалів [19].

У процесі обробки різальний інструмент сприймає як статичне так і динамічне навантаження. Наявність різних конструкційних елементів у деталях: отворів, шліців, уступів і т.д., приводить до ударного навантаження різального інструменту при їх обробці. Динамічна складова сили різання може в 1,5–2 рази перевищувати статичну. Такі умови обробки дуже небезпечні для інструменту, що оснащений твердосплавними або алмазно–твердосплавними пластинами.

Для прогнозування працездатності інструментів, що працюють у таких умовах, необхідно робити випробування інструментального матеріалу в умовах, максимально наближених до реального процесу обробки різанням.

Для визначення міцності металів і сплавів в умовах динамічного навантаження (від 0,1 до 10 м/с), як правило, використовуються маятникові й ротаційні копри.

Вони відрізняються конструктивними особливостями й методами обробки діаграм "навантаження–деформація". Однією з найбільш придатних установок, що дозволяють випробовувати малогабаритні зразки крихких матеріалів при динамічному навантаженні є системи, основані на мірних стрижнях Гопкинсона–Кольского.

В ІНМ ім. В. М. Бакуля НАНУ для визначення характеристик міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні

використовується установка вертикальний "Копер". Основою "Копра" є мірні стрижні Гопкінсона–Кольського. Такого типу установка є однією найбільш прийнятих для випробування малогабаритних зразків крихких матеріалів при динамічному навантаженні. Швидкість, що досягається, під час навантаження від 0,5 до 3 м/с.

В основу методу Кольського покладена одномірна теорія поширення пружних хвиль у довгих тонких стрижнях. Система для випробування складається із двох довгих стрижнів (того, що навантажує та опорного) з досить високою границею пружності й тонкого зразка у вигляді диску, розташованого між їхніми торцями. За допомогою бойка, що падає з висоти 0,5 м, в першому стрижні збуджується пружний імпульс стиску з амплітудою, пропорційною швидкості бойка. Відповідна хвиля деформації $\varepsilon^I(t)$ поширюється по стрижню зі швидкістю звуку [20]. При підході до зразка хвиля стиску розділяється через різницю поперечних перерізів й акустичних імпедансів матеріалів стрижнів і зразка. При цьому частина хвилі відбивається від границі й повертається в перший стрижень хвилею розтягання $\varepsilon^R(t)$, а інша частина проходить через зразок в опорний стрижень хвилею стиску $\varepsilon^T(t)$. Припускаючи однорідність напружено–деформованого стану зразка уздовж його осі (внаслідок великої тривалості імпульсу, що навантажує, в порівнянні з часом пробігу хвилі по довжині зразка), на підставі цих імпульсів по формулах Кольського можна визначити параметричні залежності розвитку напруги (3.1), деформації (3.2) й швидкості деформації (3.3) в зразку під час випробування:

$$\sigma_S(t) = \frac{EA}{A_S} \varepsilon^T(t), \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_S(t) = -\frac{2C}{L_0} \int \varepsilon^R(t) dt \quad (3.2)$$

$$\dot{\varepsilon}_S(t) = -\frac{2C}{L_0} \varepsilon^R(t) \quad (3.3)$$

де E і A - відповідно модуль Юнга і площа поперечного перерізу стержнів, A_s – вихідна площа перерізу стержня, L_0 – довжина зразка, $2C$ – швидкість звуку.

Далі для отриманих параметричних залежностей $\sigma_S(t)$, $\varepsilon_S(t)$ і $\dot{\varepsilon}_S(t)$ виключається час t як параметр і будується діаграма деформування зразка у вигляді залежностей $\sigma_S \sim \varepsilon_S$ і $\dot{\varepsilon}_S \sim \varepsilon_S$.

Друга залежність використовується для контролю зміни швидкості деформації в процесі деформування або для оцінки впливу історії зміни швидкості деформації на отриману діаграму при навантаженні імпульсом складної форми [21].

Установка для випробувань на міцність при динамічному навантаженні «Копер» і картина поширення хвилі зображені на рис. 3.1.

В базовому варіанті копра основою вимірювальної системи установки був двопроменевий цифровий осцилограф С9–8, який запускався від зростаючої амплітуди вимірюваного сигналу, що надходив на вхід осцилографа після попереднього підсилювача сигналу тензодатчика.

Максимальна амплітуда сигналу була близько 2,5 В. Але система працювала нестабільно, тому що не було можливості екранувати тензодатчики, які наклеєні на стрижнях [22].

Це навантажило б стрижень і порушило б його працездатність.

Так само додатковим джерелом завад був ланцюг живлення електромагніта, що піднімає бойок.

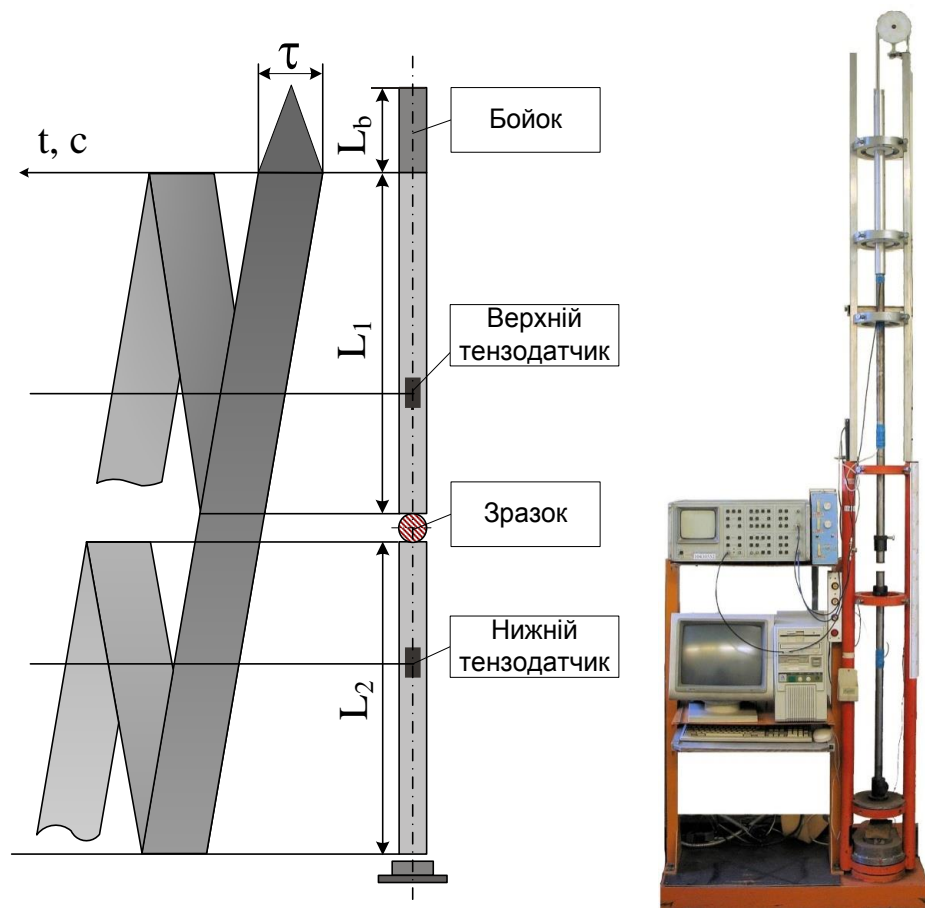


Рисунок 3.1. Установка «Копер» і картина поширення хвиль.

Скидався бойок шляхом розриву ланцюга живлення електромагніта, що приводило до виникнення наведень на тензодатчики. Для вирішення цієї проблеми було реалізовано запуск вимірювальної системи від сигнал незалежного джерела, а саме п'єзопластини.

Для цього був виготовлений датчик з п'єзокераміки ПКР-8, закріплений на бічній поверхні стрижня, поблизу торця, який сприймав удар. Конструкція датчика показана на рис. 3.2.

Епоксидна підкладка 1 має радіус, який дорівнював радіусу мірного стрижня, що збільшувало площу контакту датчика зі стрижнем. На підкладці з фольгованого склотекстоліту є контактні площадки, до яких підпаяні виводи від п'єзопластини.

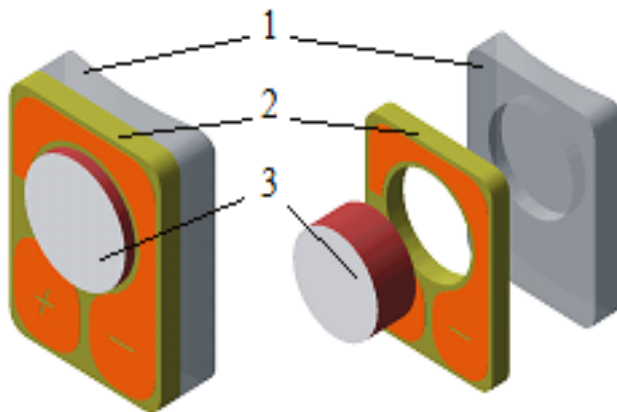


Рисунок 3.2. П'єзодатчик. 1 – епоксидна підкладка, 2 – підкладка, 3 – п'єзопластина

Сигнал від п'єзодатчика подавали на вхід зовнішнього запуску осцилографа. Це дозволяло збільшити надійність запуску вимірювальної системи.

3.2. Розробка схеми керування електромагнітом

Для підвищення ККД та швидкості польоту бойка на установці для контролю міцності твердих сплавів при динамічному навантаженні було розроблено спеціальну схему керування електромагнітним прискорювачем [23].

Електромагнітний прискорювач можна розділити на такі частини: датчик запуску, котушка індуктивності, блок керування і блок конденсаторів (рисунок 3.3).

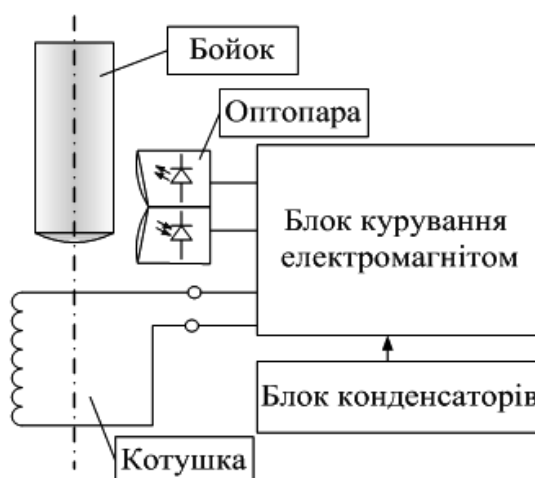


Рисунок 3.3. Блок схема керування електромагнітним прискорювачем

Принцип дії фотодіода як складової оптопари. Основним завданням у цей проміжок було створення схеми управління для електромагнітного прискорювача (яка збільшить швидкість розгону бойка) на основі оптопари, що працює на віддзеркалення. Для створення якої використовуються фотодіоди [24].

Напівпровідниковий фотодіод – це напівпровідниковий діод, зворотний струм якого залежить від освітленості.

Звичайно в якості фотодіода використовують напівпровідникові діоди з р–n переходом, який зміщений у зворотному напрямку зовнішнім джерелом живлення.

При поглинанні квантів світла в р–n переході або в прилеглих до нього областях утворюються нові носії заряду. Неосновні носії заряду, що виникли в областях, прилеглих до р–n переходу на відстані, що не перевищує дифузійної довжини, дифундують в р–n перехід і проходять через нього під дією електричного поля. Тобто зворотний струм при висвітленні зростає. Поглинання квантів безпосередньо в р–n переході призводить до аналогічних результатів. Величина, на яку зростає зворотний струм, називається фотострумом.

Основні властивості фотодіода можна охарактеризувати наступними характеристиками:

- вольт–амперна характеристика фотодіода являє собою залежність світлового струму при незмінному світловому потоці і темного струму від напруги.
- світлова характеристика фотодіода, тобто залежність фотоструму від освітленості, відповідає прямій пропорційності фотоструму від освітленості.

Це обумовлено тим, що товщина бази фотодіода значно менше дифузійної довжини неосновних носіїв заряду. Тобто практично все неосновні носії заряду, що виникли в базі, беруть участь в утворенні фотоструму.

- спектральна характеристика фотодіода - це залежність фотоструму від довжини хвилі падаючого світла на фотодіод. Вона визначається з боку великих довжин хвиль шириною забороненої зони, при малих довжинах хвиль великим показником поглинання і збільшення впливу поверхневої рекомбінації носіїв заряду із зменшенням довжини хвилі квантів світла.

Тобто, короткохвильовий кордон чутливості залежить від товщини бази і від швидкості поверхневої рекомбінації. Положення максимуму в спектральній характеристиці фотодіода сильно залежить від ступеня зростання коефіцієнта поглинання.

- стала часу – це час, протягом якого фотострум фотодіода змінюється після висвітлення або після затемнення фотодіода в декілька раз (63%) по відношенню до встановленого значення.

- темновий опір – опір фотодіода за відсутності освітлення.
- інтегральна чутливість:

$$K = \frac{I_{\phi}}{\Phi},$$

де I_{ϕ} – фотострум, Φ – освітленість.

Розрахунок ККД фотодіода :

ККД розраховують по формулі:

$$\eta = \frac{I \cdot U}{P_{осв}} \cdot 100\% , \quad (3.4)$$

де $P_{осв}$ – потужність освітленості, I – сила струму, U – напруга на фотодіоді.

3.3. Блок керування електромагнітом

Для управління електромагнітним прискорювачем була розроблена схема на основі компаратора, який реалізований на мікросхемі LM311.

Важливою перевагою схеми управління на компараторі над тригерною, є завадостійкість. Цей параметр важливий для пристроїв, які працюють в промислових умовах, де дуже багато джерел шуму [25].

Компаратор з позитивним зворотнім зв'язком рис.3.8 формує симетричну вихідну напругу, яка практично дорівнює $\pm E_f$. Позначимо коефіцієнт передачі подільника $R1, R5$ у ланцюгу компаратора через β_i :

$$\beta_i = \frac{R1}{R1 + R5} \quad (3.5)$$

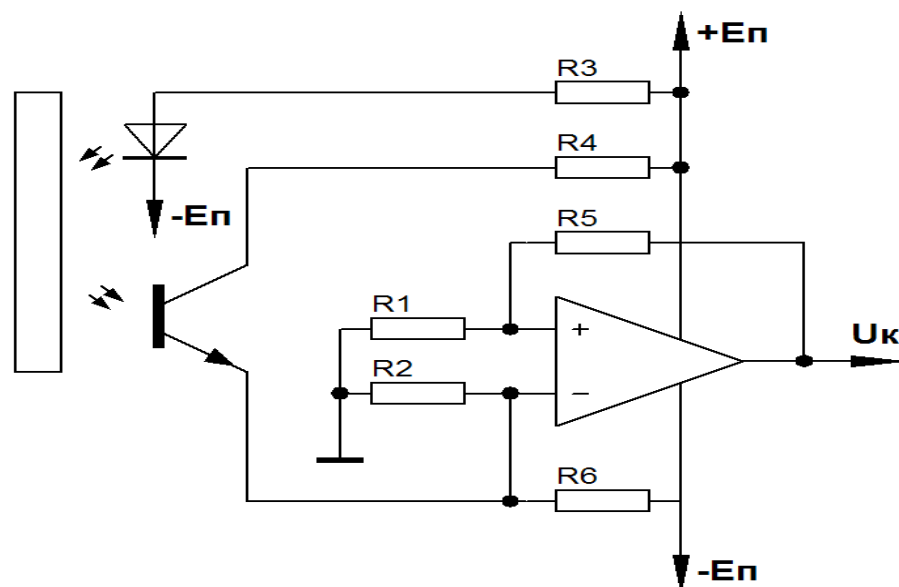


Рисунок 3.4. Розрахункова схема компаратора.

$$-U_B \leq U_{ВНХ} \leq +U_B \quad (3.6)$$

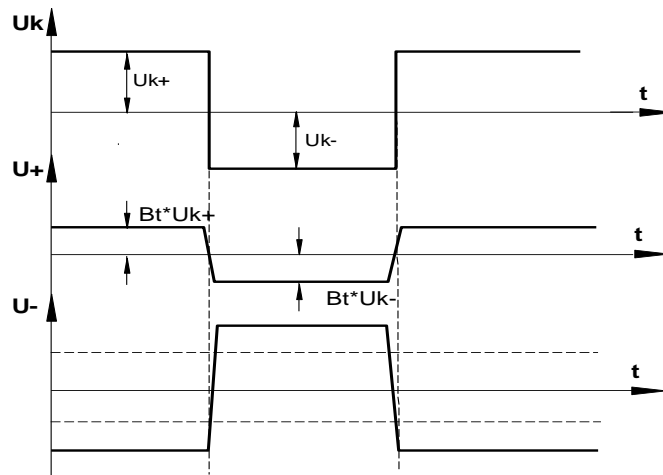


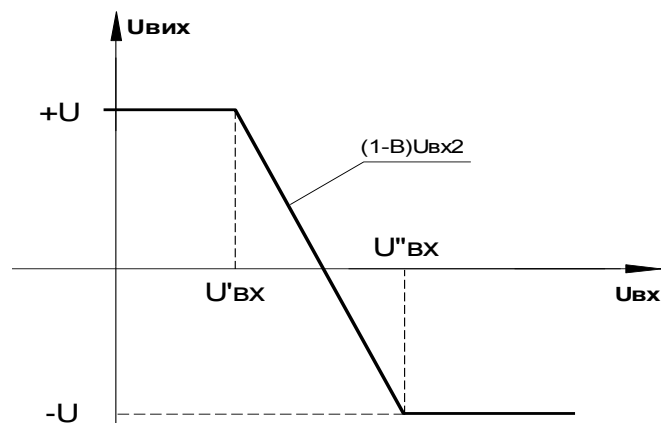
Рисунок 3.5. Часова діаграма формування вихідного сигналу.

Вихідна напруга компаратора:

$$U_{вих} = \frac{(1-\beta) \cdot K_0}{1-\beta \cdot K_0} \cdot U_{вх2} - \frac{K_0}{1-\beta \cdot K_0} \cdot U_{вх1} \quad (3.7)$$

де K_0 – коефіцієнт підсилення компаратора.

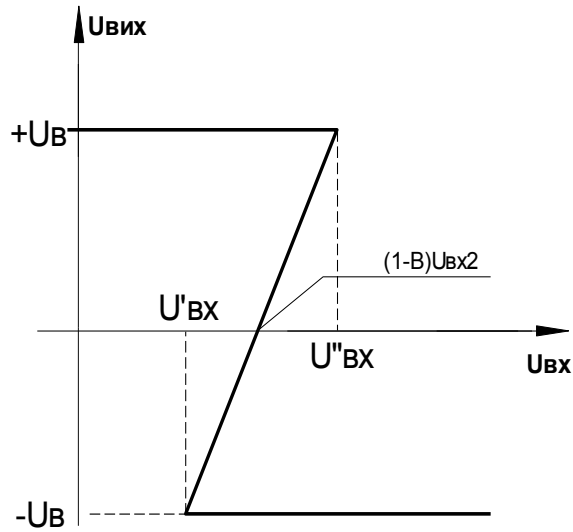
Розглянемо вихідний сигнал, коли $\beta \cdot K_0 < 1$ графік перехідного процесу буде мати такий вигляд:



$$U'_{вх} = (1-\beta) \cdot U_{вх2} - \frac{1-\beta \cdot K_0}{K_0} \cdot U_B \quad (3.8)$$

$$U''_{ex} = (1 - \beta) \cdot U_{ex2} + \frac{1 - \beta \cdot K_0}{K_0} \cdot U_B \quad (3.9)$$

В іншому випадку, коли $\beta \cdot K_0 > 1$:



Статична похибка компаратора:

$$\Delta U_{стат} = U'_{ex} - U''_{ex} = \frac{2 \cdot (\beta \cdot K_0 - 1)}{K_0} \cdot U_B \quad (3.10)$$

Динамічна похибка компаратора:

$$\Delta U_{динам} = \left| \frac{dU_{ex}}{dt} \right| \cdot \frac{2 \cdot U_B}{S_k}, \quad (3.11)$$

де $2 \cdot U_B$ – зміна напруги на виході компаратора, S_k – швидкість зміни на виході компаратора, $\frac{dU_{ex}}{dt}$ – швидкість зміни сигналу, що досліджуємо.

Відомо, що похибка компаратора дорівнює середньоквадратичній сумі статичної й динамічної складової:

$$\Delta U_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta U_{стат} \cdot K_f)^2 + (\Delta U_{динам})^2} \quad (3.12)$$

Час спрацювання обчислюється по формулі:

$$\Delta t_3 = \frac{\Delta U_{\Sigma}}{\left| \frac{dU_{ук}}{dt} \right|} \quad (3.13)$$

Цей метод відрізняється порівняно невеликими конструктивними й економічними витратами, високою продуктивністю, широким частотним діапазоном, постійною готовністю до роботи, точністю.

Датчиком включення електромагніту є оптична пара К170Р, яка спрацьовує на відбивання. У оптичних пар такого типу випромінювач світлового потоку та приймач виконані в одному корпусі [26]. Монолітність корпусу виключає необхідність в механічному налагоджуванні оптичної системи, невелике відхилення бойка від вертикальної осі не впливало на спрацювання оптичної пари. Вищеперераховане є перевагою оптичної пари, яка працює на відбивання над оптичною парою яка працює на просвіт. Відбиваючим елементом є бойок.

Остаточна принципова електрична схема з усіма необхідними номіналами, ланцюгами живлення та захисту зображена на рисунку 3.6.

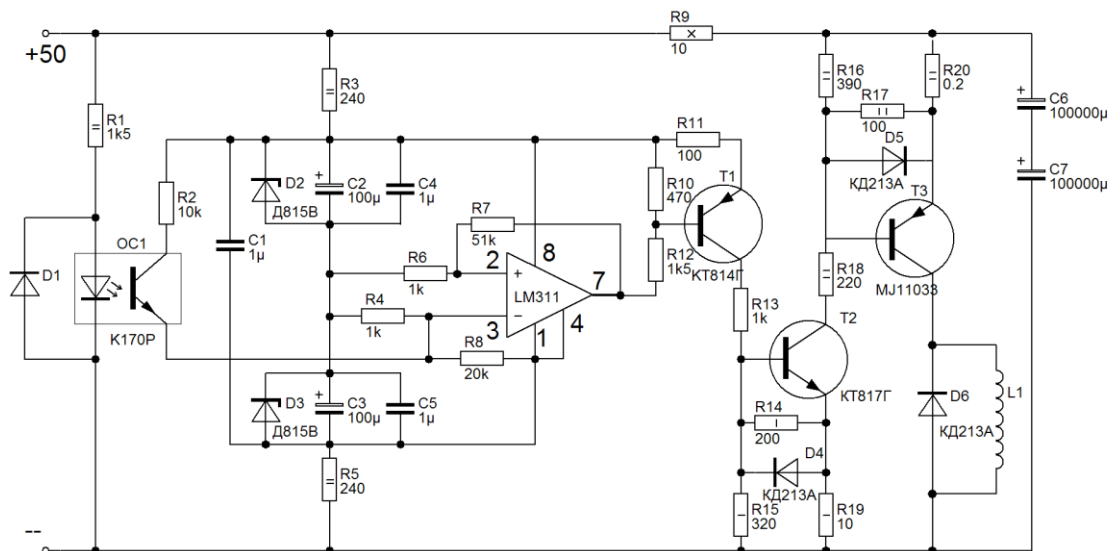


Рисунок 3.6. Схема керування електромагнітом

В початковий момент фототранзистор оптичної пари закритий і потенціал на інвертуючому вході компаратора (вивід 3) за величиною перевищує напругу гістерезису, яка забезпечується дільником R6, R7 рис. 3.10 на не інвертованому вході компаратора (вивід 2). Від’ємна напруга на інвертуючому вході призводить до позитивної напруги на виході компаратора (вивід 7) ця позитивна напруга закриває транзисторні ключі, які реалізовані на транзисторах T1, T2, T3.

При появі відбитого пучка світла фототранзистор відкривається і входить в режим насичення. Тоді позитивна напруга через ланцюг R2 і фото транзистор поступає на інвертуючий вхід компаратора. Ця напруга перевищує напругу гістерезису та призводить до переключення компаратора. В результаті переключена на виході компаратора з’являється негативна напруга. Транзистори T1, T2, T3 відкриваються і весь накоплений заряд на ємкостях C6 и C7 через T3 розряджається на індуктивність L1. Кожний ключ має місцевий негативний зворотній зв’язок за струмом, для загострення фронтів за рахунок зменшення ефекту Шмідта, а як наслідок зменшення часу перемикання транзистору. Для T1, T2, T3 елементом який забезпечує місцевий негативний зворотній зв’язок за струмом являється R11, R19, R120, відповідно. Транзистори T1 і T2 повинні бути середньої потужності високочастотними, для зменшення часу спрацювання, T3 великої потужності, також високочастотний з можливістю витримувати імпульсний струм до 100А. В ланцюгу база–емітер вихідних ключів на транзисторах T2, T3 встановлені діоди D4, D5 (КД213А), для забезпечення захисту транзисторів від імпульсного перевантаження.

На елементах D2, D3, C1 – C5, R3, R5 зібрано стабілізатори напруг для живлення мікросхеми LM311.

Особливу увагу було приділено вибору типу конденсаторів C6 и C7 ємкістю по 100000мкФ та напругою до 63В.

Вони повинні мати малу паразитну індуктивність, працювати в широкому діапазоні частот (це дає змогу комутувати короткі імпульси). За такими вимогами були підібрані ємності фірми Evox Rifa типу РЕН200MV6100М 100000 мкФ на 63 вольта.

Котушка індуктивності L1 була виготовлена у вигляді окремого елемента, має 250 витків з мідного дроту діаметром 2,5 мм у лаковій ізоляції з додатковою ізоляцією між шарами рис. 3.7.

Котушка індуктивності встановлювалась безпосередньо на установці. Перед котушкою встановлена оптична пара запуску схеми керування, а після котушки встановлена оптична пара для вимірювання швидкості і запуску АЦП.

Окремим прибором виготовлено блок керування електромагнітом рис. 3.8 До блоку приєднується датчик запуску, котушка індуктивності та ємності.

Для запобігання нещасних випадків ємності нашого прискорювача сховані в окремому металевому корпусі.

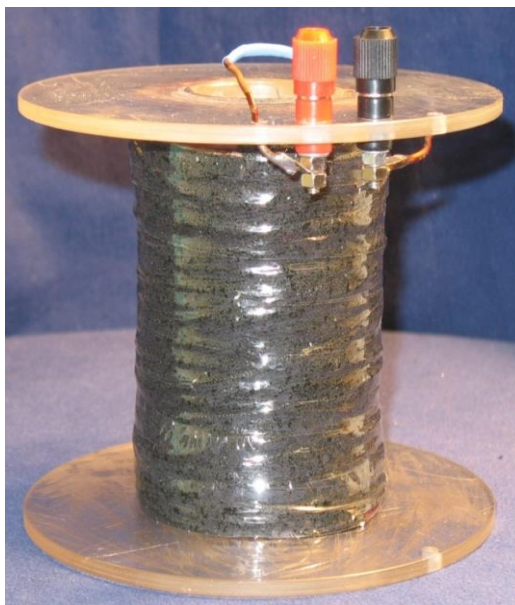


Рисунок 3.7. Котушка індуктивності електромагнітного прискорювача

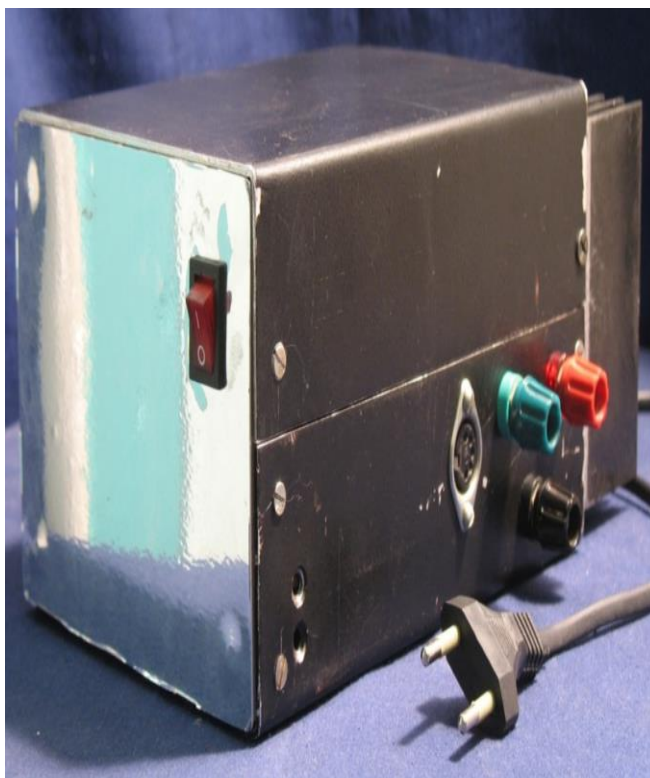


Рисунок 3.8. Блок керування електромагнітом.



1 – котушка соленоїда

2 – датчик запуску

3 – датчик швидкості

Рисунок 3.9. Розташування електромагнітного прискорювача на установці «Копер»

3.4. Розробка системи вимірювання швидкості бойка та стикування установки з комп'ютером

Для підвищення точності визначення швидкості бойка в момент удару було запропоновано вимірювати швидкість за допомогою спеціально розробленого оптико-механічного вимірювального приладу [27]. Блок-схема приладу зображена на рис. 3.10.

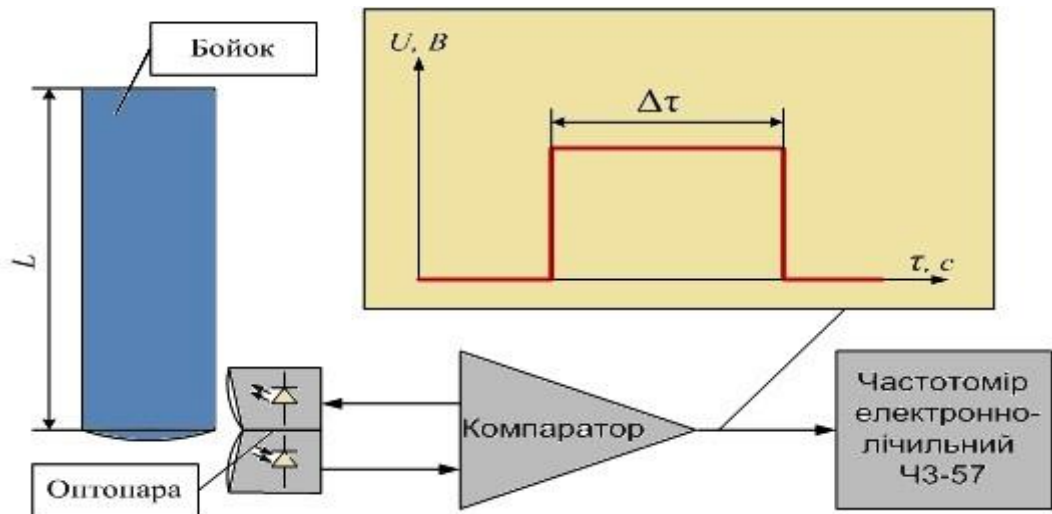


Рисунок 3.10. Блок-схема приладу для вимірювання швидкості

Падаючи, бایок, який має фіксовану довжину L , перетинає вісь спрацьовування оптичної пари. Тим самим він перемикає компаратор в стан логічної одиниці, а після вильоту із зони спрацьовування оптичної пари перемикає компаратор в стан логічного нуля. На виході компаратора формується прямокутний імпульс із тривалістю $\Delta\tau$. Довжину імпульсу вимірювали частотоміром ЧЗ-57.

Швидкість падіння бойка розраховували по формулі (3.13).

$$V_p = \frac{L}{\Delta\tau} \quad (3.13)$$

Електрична принципова схема пристрою для вимірювання швидкості удару бойка та синхронізації запуску АЦП зображена на рис. 3.11.

Дана схема реалізована на компараторі, переваги такого рішення були вже нами згадані.

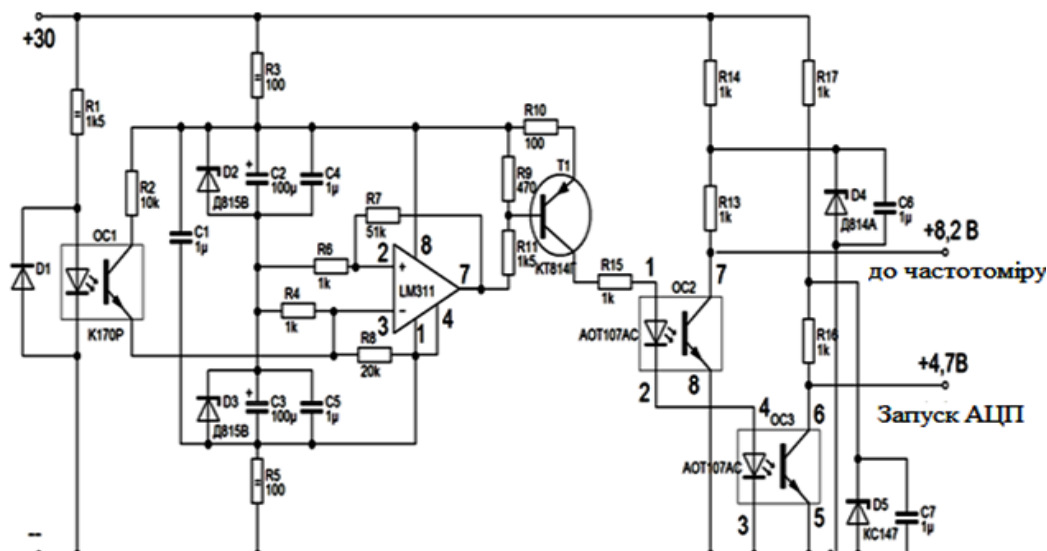


Рисунок 3.11. Схема пристрою для вимірювання швидкості та запуску АЦП

Для синхронізації приладу вимірювання швидкості з зовнішніми пристроями, а саме з частотоміром і АЦП по живленню після вихідного транзистора Т1 встановлені дві оптичні пари ОС2 і ОС3.

До приладу вимірювання швидкості рис.3.12 приєднуються вимірювальний датчик, частотомір і АЦП.

Одночасно сигнал, який використовується для вимірювання швидкості, є сигналом для запуску зовнішнього модулю АЦП.

Синхронізація запуску АЦП з початком процесу навантаження дозволяє розпочати запис саме корисного швидкоплинного сигналу, що зменшує об'єм непотрібної інформації.



Рисунок 3.12. Прилад для вимірювання швидкості

Дослідження та вивчення технічних властивостей і характеристик програмно –апаратних модулів показало доцільність використання АЦП Е20 –10 фірми L – Card (м. Москва) рис. 3.13.



Рисунок 3.13. Модуль АЦП Е20–10

АЦП Е20 –10 це модуль швидкодіючого аналого–цифрового перетворення для інтерфейсу USB 2.0.

Характеристики АЦП E20 –10 :

- Забезпечується безперервний збір 16–бітних даних із частотою до 10 МГц по інтерфейсі USB2.0
- 4 –канальна архітектура з одним 14– розрядним АЦП, комутатором, вхідними буферними підсилювачами, фільтрами в кожному каналі. Ефект комутаційних перешкод повністю виключений.
- Кожний з каналів має можливість програмної установки наступних діапазонів вхідного сигналу незалежно для кожного каналу: $\pm 3.0V$, $\pm 1.0V$, $\pm 0.3V$. Це програмне асинхронне настроювання може бути зроблена до початку збору даних або під час його.
- Кожен канал має ФНЧ 3 –го порядку із частотою зрізу 1.25 МГц (оптимальна смуга пропускання для 4 – канального режиму й частоти АЦП 10 МГц), що поліпшує співвідношення сигнал-шум.
- Частота АЦП FADC може бути задана в діапазоні від 1,00 до 10,0 МГц. Частота АЦП може бути або внутрішньої, встановлена програмно, сітка частот у мегагерцах визначається по формулі $FADC = 30/k$, де $k = \{3, 4, 5, \dots, 30\}$, або зовнішньої з будь–якою частотою від 1,00 до 10,0 МГц (менша частота може бути досягнута шляхом завдання міжкадровою затримки)
- Міжкадрова затримка вибірки АЦП може бути запрограмована від 0 до 255 періодів частоти АЦП. Це дозволяє реалізувати більш низькі частоти вибірки по кожному каналі – від 3,9 кГц і вище.
- Внутрішній буфер FIFO даних розміром 8 МВ буферизує дані, крім їхньої втрати у випадку, коли операційна система комп'ютера "задумалася"² (до 400 мс при частоті опитування 10 МГц, до 4 при частоті збору 1 МГц).
- Цифровий ввід–вивід представлений у вигляді 16 вхідних й 16 вихідних цифрових ТТЛ–сумісних ліній. Цифрові висновки за бажанням користувача можуть бути переведені в третій стан

Після проведення модернізації установки “Копер” були проведені досліді та отримані середні значення розгону бойка.

Нижче в таблиці 3.1. наведені середні значення швидкості бойка при дооснащенні системи певною кількістю котушок.

Таблиця 3.1. Середні значення розгону бойка

| Кількість котушок | Швидкість бойка (м/с) | |
|-------------------|-----------------------|--------------------|
| | До модернізації | Після модернізації |
| 1 | 3,1 | 10 |
| 2 | 3,1 | 17,9 |
| 3 | 3,1 | 26,3 |

Швидкість розгону бойка (10 м/с) була здобута за наявності у системі однієї котушки індуктивності, у перспективі при збільшенні кількості котушок та коректному налаштуванні автоматизованої системи можна досягти будь-яких поставлених задач [28].

3.5. Висновки до розділу 3

Було розглянуто метод Кольського. В основу методу покладена одномірна теорія поширення пружних хвиль у довгих тонких стрижнях. Система для випробування складається із двох довгих стрижнів (того, що навантажує та опорного) з досить високою границею пружності й тонкого зразка у вигляді диску, розташованого між їхніми торцями. За допомогою бойка, що падає з висоти 0,5 м, в першому стрижні збуджується пружний імпульс стиску з амплітудою, пропорційною швидкості бойка.

Скидався боек шляхом розриву ланцюга живлення електромагніта, що приводило до виникнення наведень на тензодатчики. Для вирішення цієї проблеми було реалізовано запуск вимірювальної системи від сигнал незалежного джерела, а саме п'єзопластини. Для цього був виготовлений датчик з п'єзокераміки ПКР–8, закріплений на бічній поверхні стрижня, поблизу торця, який сприймав удар.

Для управління електромагнітним прискорювачем була розроблена схема на основі компаратора, який реалізований на мікросхемі LM311. Важливою перевагою схеми управління на компараторі над тригерною, є завадостійкість.

Для підвищення точності визначення швидкості бойка в момент удару було запропоновано вимірювати швидкість за допомогою спеціально розробленого оптико–механічного вимірювального приладу.

Після проведення модернізації установки Копер були проведені досліді та отримані середні значення розгону бойка. Швидкість розгону бойка 10 м/с була здобута за наявності у системі однієї котушки індуктивності , при збільшенні кількості котушок та коректному налаштуванні автоматизованої системи можна досягти будь–яких поставлених задач.

4. ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНЕ ВИПРОБУВАННЯ УСТАНОВКИ

4.1. Розробка методики градуювання установки контролю міцності твердих сплавів при динамічному навантаженні

Якість визначення міцності інструментальних матеріалів при динамічному навантаженні на вертикальних копрах багато в чому залежить від точності вимірювальної установки. Перед кожною серією випробувань для підвищення точності вимірів і розрахунку градуювальних коефіцієнтів необхідно проводити градуювання установки "Копер". Градуювання полягає у визначення зв'язку між силою навантаження й напругою.

Як відомо з теорії зіткнення довгих пружних стрижнів одного діаметра, зусилля визначається за формулою (4.1) [29]

$$P_{теор} = \rho \cdot C_0 \cdot V \cdot F, \quad (4.1)$$

де ρ – густина матеріалу стрижня, C_0 – швидкість пружної хвилі в стрижні, V – масова швидкість часток у стрижні, F – площа поперечного перерізу стрижня. Значення швидкості V визначається по формулі (4.2)

$$V = V_0 / 2, \quad (4.2)$$

де V_0 – швидкість співударяння бойка зі стрижнем.

V_0 визначається з рівняння вільного падіння по формулі (4.3)

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (4.3)$$

де h – висота підйому бойка.

Градуювання вимірювальної системи проводилося шляхом скидання бойка з контрольної висоти й визначення амплітуди сигналу, що відповідає горизонтальній ділянці на осцилограмі навантаження (див. рис. 4.1).

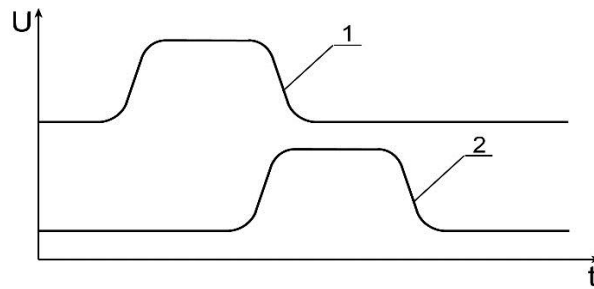


Рисунок 4.1. Прямий (1) і пройдений (2) імпульси, отримані при градуванні Копра

Надалі навантаження визначалося по формулі $P = 1000 \cdot U \cdot \mu_p$, де U – амплітуда сигналу, В.

Найбільше на похибку вимірювань впливає величина бази використаного тензорезистора. Для порівняння ми вивчили осцилограми руйнування зразка, отримані з використанням тензодатчиків з базою 20 і 5 мм. Відповідно динамічна складова похибки виміру зусилля руйнування становила 7% й 1,9%. Таким чином, при експлуатації системи необхідно використати датчики з базою не більше 5-10 мм. Враховуючи, що знак динамічної похибки нам відомий, її можна розглядати як систематичну похибку результату вимірів і виправляти результат кожного експерименту.

Результати вимірювання відображені в таблиці 4.1 та в градуювальних графіках для верхнього стрижня (рис. 4.2) і для нижнього (рис. 4.3).

Таблиця 4.1. Результати вимірювання імпульсів, отримані при градуванні Копра

| Висота підйому бойка h , см | Теоретичне значення сили P , кН | Амплітуда імпульсу, В | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| | | <i>I канал</i> | <i>II канал</i> |
| 5 | 14,2 | 1,26 | 1,27 |
| 10 | 20,1 | 1,80 | 1,87 |
| 15 | 24,6 | 2,20 | 2,30 |
| 20 | 28,4 | 2,55 | 2,62 |
| 25 | 31,7 | 2,83 | 2,89 |

| | | | |
|----------------|------|--------|--------|
| 30 | 34,7 | 3,08 | 3,10 |
| μ_P , кН/В | | 11,216 | 10,964 |

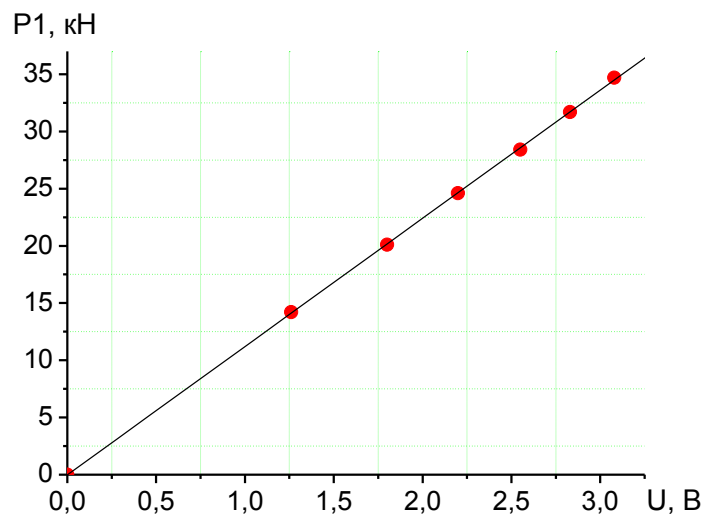


Рисунок 4.2. Градуировальный график верхнего стрижня

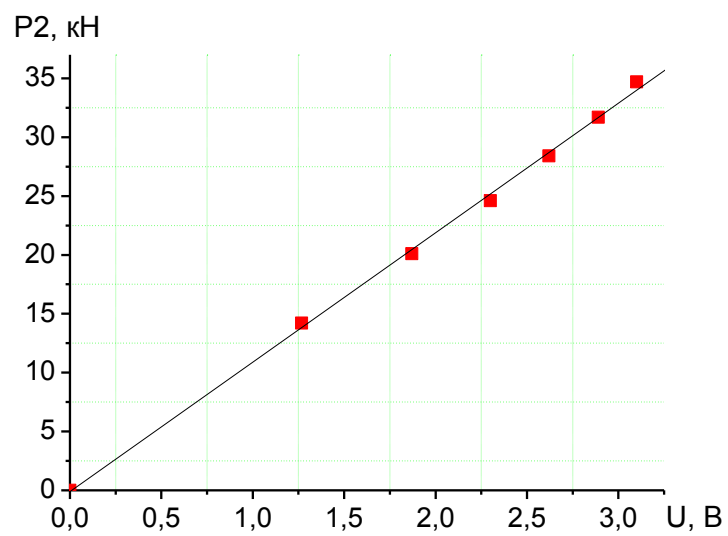


Рисунок 4.3. Градуировальный график нижнего стрижня

4.2. Застосування вертикального копра для дослідження міцності та енергії руйнування при динамічному навантаженні

Випробування міцності на розтяг при діаметральному стисканні

Схема навантаження при визначенні межі міцності на розтяг при діаметральному стисканні σ_p^{dc} приведена на рисунку 4.4

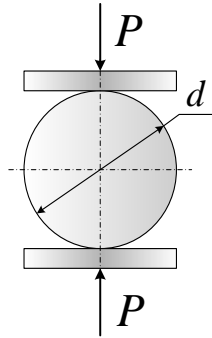


Рисунок 4.4. Схема навантаження

По осцилограмі (рис.4.5), яка отримана в результаті випробування визначали силу, при якій відбулося руйнування зразка .

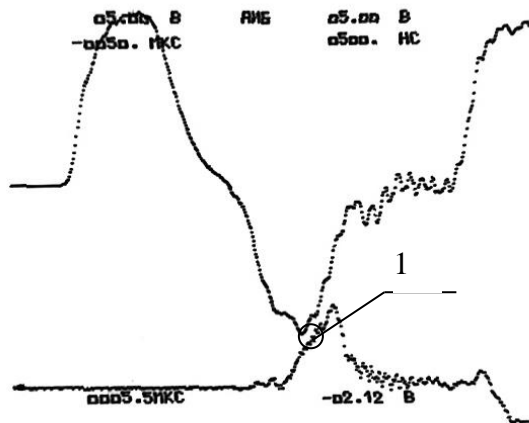


Рисунок 4.5. Осцилограма сигналу: 1 - максимальний пік сигналу

Були проведені випробування 10 дискових зразків однієї партії сплаву ВКЗ на модернізованій установці для контролю міцності твердих сплавів при динамічному навантаженні. Перед початком проведення випробувань були визначені розміри зразків, а саме діаметр d і товщина t .

Міцність при діаметральному стиску визначали по формулі (4.1) [24].

$$\sigma_p^{dc} = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot t} \quad (4.4)$$

Міцність при одноосьовому розтяганні визначали по формулі (1.18) [9].

$$\sigma_p = \frac{1.28\sigma_k\sigma_c}{\pi\sigma_c - 5.93\sigma_k} \quad (4.5)$$

де σ_k – контактна міцність, σ_c – межа міцності при одноосьовому стиску.

Геометричні розміри зразків $d = 7,8$ мм, $t = 2,95$ мм.

Результати випробувань показали, що всі 10 зразків зруйнувалися за класичною схемою (рис. 4.3) і збоїв роботи вимірювальної системи не було.

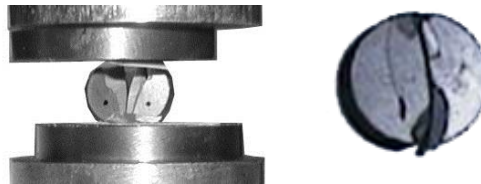


Рисунок 4.6. Вид руйнування зразка

Результати випробувань ВКЗ: $\sigma_p^{\partial c} = 576 \pm 95$ МПа, $\sigma_p = 620 \pm 65$ МПа.

Також були проведені випробування зразків з експериментальних твердих сплавів, отриманих у Московському інституті сталі та сплавів методом вакуумного спікання на протязі 40 хвилин при температурі 1550 °С . Шихта до спікання піддавалася інтенсивному розмелу на протязі 120 годин кулями 5-10 мм. Сплави першої групи містили крім WC до 19% Ni_3Al , а другий – крім TiC до 19% Ni_3Al . Результати випробувань: межа міцності сплавів першої групи, $\sigma_p^{\partial c} = 435 \pm 28$ МПа, другої $\sigma_p^{\partial c} = 290 \pm 15$ МПа [29].

Таким чином, тверді сплави, які одержані методом вакуумного спікання з добавкою Ni_3Al , мають високі механічні характеристики, хоча їхня міцність при динамічних навантаженнях менше міцності твердих сплавів WC – Co - групи.

Для апробації установки й методу випробування на міцність були виготовлені зразки із двох марок твердих сплавів - ВК8 і ВК13. Одна партія зі сплаву ВК13 була отримана методом термокомпресійної обробки (ТКО), а друга - безперервним спіканням у вакуумі (БСВ). Крім того були виготовлені чотири партії зі сплаву ВК 8 по методу БСВ при різних температурних режимах.

Схема випробувань на міцність при круговому згині на малюнку 4.7.

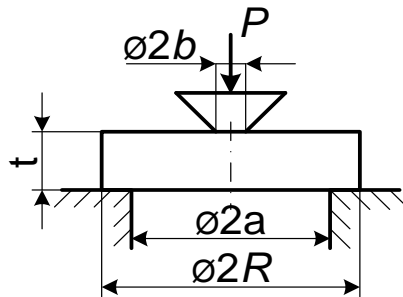


Рисунок 4.7. Схема випробувань на міцність при круговому згині, $2a$ – діаметр опорного кільця, $2b$ - діаметр пуансона, що навантажує, $2R$ - діаметр зразка, t - товщина зразка

Межу міцності при круговому згині розраховували по формулі 4.6 [27]

$$\sigma_f = \frac{3P}{2\pi t^2} \left[(1 + \nu) \ln \frac{a}{b} + \frac{1 - \nu}{2} \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \frac{a^2}{R^2} \right] \quad (4.6)$$

де P – критична сила, t – товщина зразка, R – радіус зразка, b – радіус пуансона, що навантажує, a – радіус опорного кільця, ν – коефіцієнт Пуассона. Для твердих сплавів прийняли $\nu = 0,3$.

У таблиці 4.1 наведені розміри зразків, величини критичної сили $P_{кр}$ і міцність при круговому згині σ_f .

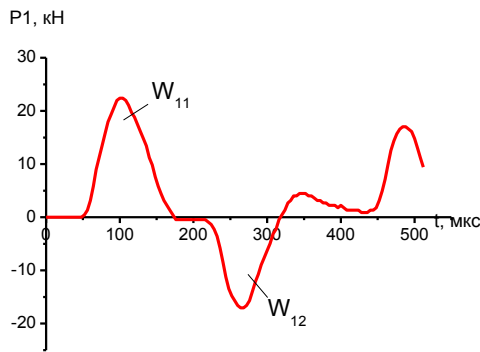
Таблиця 4.2. Розміри зразків

| № п/п | шифр партії | D, мм | H, мм | P _{кр} , кН | σ_f , МПа | σ_f , Середнє, МПа |
|----------|----------------|----------|----------|-------------------------|---------------------|------------------------------|
| 1 | ВК13 п. 1 | 10 | 2 | 8,964 | 2887 | 3248±360 |
| 2 | ТКО | 10 | 2 | 11,21 | 3608 | |
| 3 | ВК13 п. 2 | 10 | 2,1 | 18,82 | 5958 | 4860±1000 |
| 4 | НСВ | 10 | 2,1 | 11,88 | 3759 | |
| 5 | ВК8 п. 1 | 7,9 | 2,1 | 4,7 | 1460 | 1220±240 |
| 6 | НСВ | 7,9 | 2,1 | 3,586 | 980 | |
| 7 | ВК8 п. 2 | 7,9 | 1,5 | 3,81 | 2042 | 1849±190 |
| 8 | НСВ | 7,9 | 1,5 | 3,496 | 1873 | |
| 9 | 13.04.06 | 7,9 | 1,5 | 3,048 | 1633 | |
| 10 | ВК8 п. 3 | 7,8 | 2,1 | 10,13 | 2775 | 2490±280 |
| 11 | НСВ | 7,8 | 2,1 | 10,31 | 2824 | |
| 12 | | 7,8 | 2,1 | 6,185 | 1868 | |
| 13 | ВК8 п. 4 | 7,9 | 1,9 | 4,392 | 1467 | 1771±300 |
| 14 | НСВ | 7,9 | 1,4 | 3,048 | 1875 | |
| 15 | | 7,9 | 1,4 | 3,048 | 1875 | |

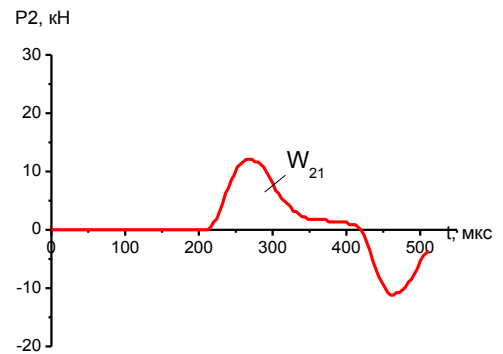
Отримані результати показали перспективність використання даного методу при оцінці міцності при використанні малогабаритних зразків при динамічному навантаженні

Питома робота руйнування a_p є однією з фундаментальних характеристик матеріалу, тому що вона пов'язана з міцністю міжатомних зв'язків у твердих тілах. Однак визначення цієї характеристики дуже складне, особливо при динамічному навантаженні, тому що складно розділити енергію, що затрачується на формування концентратора початку руйнування й зародження тріщини від енергії зв'язку елементів структури. Установка на базі мірних стрижнів дозволила вирішити цю проблему [30].

Графіки сил у верхньому й нижньому стрижнях показані на рис. 4.8.



а)



б)

Рисунок 4.8 Графіки зміни сил у верхньому а) і нижньому б) стрижнях

Кількість пружної енергії W у хвилі деформації визначали шляхом інтегрування імпульсів навантаження P по формулі 4.7[30]

$$W = \frac{C}{E \cdot F} \int_{\tau_0}^{\tau_1} P^2(\tau) d\tau \quad (4.7)$$

де F - площа перетину стрижнів, C - швидкість звуку в матеріалі стрижнів, $C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, E , ρ – відповідно модуль пружності й щільність матеріалу стрижнів (сталь У8).

На основі закону збереження енергії можна визначити баланс пружної енергії в стрижнях ΔW формула 4.8

$$\Delta W = W_{11} - W_{12} - W_{21}, \quad (4.8)$$

де W_{11} – енергія прямої хвилі, W_{12} – енергія відбитої хвилі, W_{21} – енергія хвилі, що пройшла через зразок.

При крихкому руйнуванні зразка між стрижнями енергія витрачається в основному на руйнування зразка (формула 4.9).

$$A = \Delta W = W_{11} - W_{12} - W_{21} \quad (4.9)$$

Тоді робота руйнування a_p дискових зразків діаметром D і товщиною t визначається по формулі 4.10.

$$a_p = \frac{A}{S} = \frac{A}{2t(D-2l)} \quad (4.10)$$

Відповідно до розробленої методики були випробувані зразки гарячепресованих WC-Co твердих сплавів з добавками міді, алмазовмісних композитів на основі гарячепресованих твердих сплавів (з магнітними – М і немагнітними – Н алмазами) і експериментальних твердих сплавів, отриманих методом вакуумного й компресійного спікання [31]. Зразки у формі дисків діаметром $D = 8-10$ мм і товщиною $t = 2,5-3$ мм випробовували при діаметральному стиску. У зразках виконувався – центральний надріз довжиною $2l$.

Результати вимірів наведені в табл. 4.2. З таблиці видно, що при вмісті міді 1,6 % міцність і питома поверхнева енергія зростає, що свідчить про позитивний вплив міді на роботу руйнування даного класу матеріалів. При цьому малий вміст міді (0,8 %) може приводити до зменшення питомої поверхневої енергії [32]. Наявність алмазних часток також приводить до зниження міцності й особливо питомої поверхневої енергії. При цьому міцність і питома поверхнева енергія для магнітних (з металевими включеннями) алмазів нижче, ніж немагнітних (без включень).

Таблиця 4.3. Характеристика матеріалів

| Матеріал | Межа міцності при діаметральному стиску σ_p , МПа | Тріщиностійкість K_{Ic} , МПа·м ^{1/2} | Робота руйнування A , Дж | Питома поверхнева енергія A_{y0} , Дж/мм ² |
|------------|--|--|----------------------------|---|
| ВК6Г | 50,2 | 6,8 | 0,38 | 0,013 |
| ВК6Г+0,8Cu | 51,2 | 6,5 | 0,13 | 0,003 |
| ВК6Г+1,6Cu | 54,5 | 7,8 | 0,57 | 0,015 |
| ВК6Г+3,2Cu | 57,9 | 8,4 | 0,67 | 0,019 |
| Славутич М | 41,6 | - | 0,17 | 0,0035 |
| Славутич Н | 42,4 | - | 0,22 | 0,0043 |

Встановлено, що міцність зразків компресійного спікання вище, ніж зразків вакуумного спікання (448 й 435 МПа відповідно). При цьому їх по-

ристість також була менше, що свідчить про переваги компресійного спікання.

4.2. Дослідження впливу умов спікання полікристалів на міцність на розтяг при діаметральному стиску

За допомогою розробленої методики були виконані дослідження впливу умов спікання полікристалів cBN на міцність на розтяг при діаметральному стиску. Використовували зразки діаметром 9 мм та товщиною 3 мм. Випробування виконували зі швидкістю навантаження 3,4 м/с [33].

Отримані значення границі міцності на розтяг при діаметральному стиску зразків із полікристалів cBN.

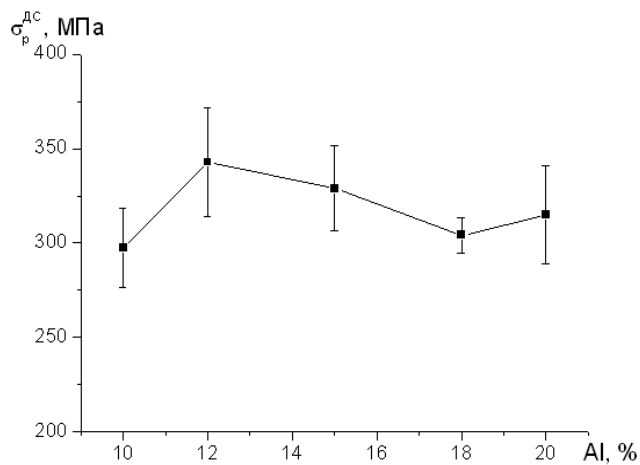


Рисунок 4.9. Залежність границі міцності на розтяг від вмісту Al

Досліджено вплив термобаричних умов спікання гомогенних порошкових сумішей кубічного нітриду бору та алюмінію на однорідність структури і властивості полікристалів cBN, встановлено методами оптичної мікроскопії, дюрометрії та розрахунками масштабні рівні неоднорідності в залежності від дії таких факторів як тиск, температура, склад шихти та дисперсність її складових [34].

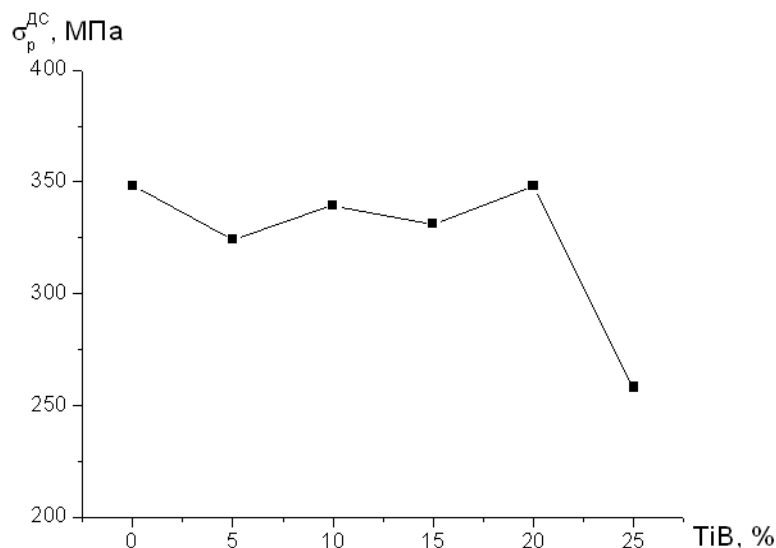


Рисунок 4.10. Залежність границі міцності на розтяг при діаметральному стиску від вмісту TiB₂ (АВТ КЗ-35)

4.3. Висновки до розділу 4

Були проведені випробування 10 дискових зразків однієї партії сплаву ВКЗНа модернізованій установці для контролю міцності твердих сплавів при динамічному. Результати випробувань показали, що всі 10 зразків зруйнувалися за класичною схемою і збоїв роботи вимірювальної системи не було.

Для апробації установки й методу випробування на міцність були виготовлені зразки із двох марок твердих сплавів - ВК8 і ВК13.

Відповідно до розробленої методики були випробувані зразки гарячепресованих WC-Co твердих сплавів з добавками міді, алмазовмістних композитів на основі гарячепресованих твердих сплавів (з магнітними – М і немагнітними – Н алмазами) і експериментальних твердих сплавів, отриманих методом вакуумного й компресійного спікання. В результаті вимірів видно, що при вмісті міді 1,6 % міцність і питома поверхнева енергія зростає, що свідчить про позитивний вплив міді на роботу руйнування даного класу матеріалів.

Досліджено вплив термобаричних умов спікання гомогенних порошкових сумішей кубічного нітриду бору та алюмінію на однорідність структури і властивості полікристалів cBN.

5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ “АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ”

5.1. Опис ідеї проекту

Тема даного дипломного проекту “Автоматизована система дослідження характеристик міцності крихких матеріалів”. Для перевірки та для дослідження міцності крихких матеріалів використовують маятникові, ротаційні та вертикальні копри. Вони дозволяють перевірити крихкість матеріалу тільки з малою швидкістю навантаження до 3 м/с. Тверді матеріали використовуються у таких галузях, як приладобудування та машинобудування. Така швидкість навантаження характерна незначній кількості матеріалів і не дає змогу випробувати на міцність вироби з твердих сплавів в умовах максимально наближених до умов експлуатації.

Для збільшення та для розширення сфери застосування необхідно, щоб швидкість динамічних навантажень зросла до 10 м/с. Тому було прийнято рішення збільшити швидкість навантаження на вертикальному копрі до 7-10 м/с.. Для цього було прийняте рішення дооснастити копер електромагнітним прискорювачем. Він має досить високий у порівнянні з іншими електромагнітними прискорювачами ККД і може працювати на низьких напругах.

1) Цілісне уявлення про зміст ідеї та базові потенційні ринки представлено у вигляді таблиці (табл. 5.1) , завдяки, якій можна визначити групи потенційних клієнтів [35].

Таблиця 5.1.Опис ідеї стартап-проекту

| <i>Зміст ідеї</i> | <i>Напрями застосування</i> | <i>Вигоди для користувача</i> |
|--|---|--|
| Випробування твердих сплавів у лабораторних умовах максимально наближених до умов експлуатації | Діагностика різальних пластин (різців, фрез, свердла, протяжки і інший інструмент). | Зменшення браку на підприємстві, отримання повної характеристики твердості різальних пластин |
| | Визначення властивостей нових матеріалів(матеріалознавство) | Удосконалення дослідження для науковців, можливість до нових відкриттів та винаходів. |

| | | |
|--|---------------------------------------|--|
| | Військова промисловість(бронепластин) | Можливість швидко та якісно дослідити безпечність виробу |
|--|---------------------------------------|--|

Визначено ідею дипломної дисертації, її застосування та техніко-економічні характеристики. Дана ідея може мати широке призначення та виходу для багатьох користувачів.

2) Для того, щоб проаналізувати техніко-економічні переваги даної ідеї необхідно визначити коло конкурентів або товарів-замінників, що вже існують на ринку, та проводиться збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів конкурентів відповідно до визначеного вище переліку. В результаті порівняльного аналізу проводиться визначення показників що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| № п/п | Техніко-економічні характеристики ідеї | (потенційні) товари/концепції конкурентів | | | | W (слабка сторона) | N (нейтральна сторона) | S (сильна сторона) |
|----------|--|--|----------------------------|---------------------------|--|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| | | Автоматизована система дослідження міцності крихких матеріалів | Копер маятниковий КМ-500-М | Маятниковий копер рп45 2g | Настольная испытательная машина - ugt-ai3000 | | | |
| 1 | Економічні | Низьковартісне обслуговування та ремонт | | | | | | x |
| | | Вартість витратних матеріалів | | | | | x | |
| | | Вартість експлуатації | | | | | x | |
| 2 | Надійності | Строк безвідмовного функціонування | | | | | | |
| | | Гарантійний термін | | | | | | x |
| | | Ремонтопридатність | | | | | | x |
| 3 | Технологічні | Довготривалість виготовлення | | | | x | | |
| | | Оптимізація витрат | | | | | x | |
| | | Трудомісткість виготовлення | | | | | | x |
| 4 | Призначення | Наявність багатьох датчиків швидкості | | | | x | | |

| | | | | | |
|---|--------------------------|---|--|---|---|
| | ня (технічні) | Широкий діапазон вимірюваних швидкостей | | | x |
| | | Мала похибка вимірювання | | x | |
| 5 | Ергономічність | Відповідність виробу сприйняття інформації користувачем | | | x |
| | | Зручність користування системою | | x | |
| 6 | Естетичні | Інформаційна виразність | | x | |
| | | Досконалість виробничого дослідження | | | x |
| 7 | Транспор- табельності | Трудомісткість підготовки одиниці продукції до перевезень | | x | |

За допомогою таблиці визначено всі переваги, недоліки проекту та з'ясовано, що проект має дуже багато сильних сторін, а саме низьковартісне обслуговування, довгий гарантійний термін, ремонтпридатність, швидке виготовлення і т.д.

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових, які подані у таблиці 5.3:

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № п/ п | Ідея проекту | Технології її реалізації | Наявність технологій | Доступність технологій |
|--|--|--|----------------------|------------------------|
| 1 | Автоматизоване дослідження твердих сплавів у лабораторних умовах в умовах, максимально наближених до умов експлуатації | Вертикальний копер на базі мірних стрижнів Гопкінсона-Кольського використовуючи електромагнітний прискорювач | наявна | доступно |
| 2 | дослідження міцності сплавів при малій швидкості | Вертикальний копер | наявна | доступно |
| 3 | дослідження міцності сплавів при малій швидкості | Маятниковий копер | наявна | доступно |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Маятниковий копер на базі мірних стрижнів Гопкінсона-Кольського використовуючи електромагнітний прискорювач. | | | | |

Вибрана технологія є найбільш удосконалена та універсальна за допомогою використання електромагнітного прискорювача. Здійсненність такої

технології цілком реальна, так як є наявність і доступність необхідного обладнання, коштів та інформації.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

1) Аналіз наявності попиту, обсягу та динаміки ринку (табл. 5.4) дозволяє визначити ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проекту.

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| № п/п | Показники стану ринку (найменування) | Характеристика |
|----------|--|---|
| 1 | Кількість головних гравців, од | 7 |
| 2 | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | 250000 |
| 3 | Динаміка ринку (якісна оцінка) | Зростає |
| 4 | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | Наявність ліцензій та сертифікатів |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | ГОСТ 8.437–81 Системы информационно–измерительные. Метрологическое обеспечение. |
| | | ГОСТ 8.438–81 Системы информационно–измерительные. Поверка., |
| | | ГОСТ 22261-82 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия |
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), % | 25% |

З'ясовано, що характеристика даного стартап – проекту дозволяє легко увійти на потенційний ринок за допомогою зростання динаміки ринку та незначних обмежень для входу. Головною ціллю є отримання певних ліцензій та сертифікатів.

2) Надалі визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| <i>№ n/n</i> | <i>Потреба, що формує ринок</i> | <i>Цільова аудито- рія(цільові сегменти ринку)</i> | <i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клі- єнтів</i> | <i>Вимоги спожива- чів до товару</i> |
|------------------|--|---|---|---|
| 1 | Діагностика якості продукції | -наукові інститути, заводи, які виготовляють або використовують різальні інструменти, військове спорядження, вимірювальну техніку та об'єкти виготовлення заготовок (Інститут надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України, Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Укроборонпром | ГОСТ 2.601–95.ЕСКД.Эксплуатационные документы, РД 50–660–88. Инструкция, ГСИ. Документы на методики поверки средств измерений., ГОСТ 8.010–90. Методики выполнения измерений; | -надійність; - належна якість продукції та обслуговування; - доступну та достовірну інформацію про продукт, її, якість, асортимент, а також про її виробника (виконавця); -точність; -програмне забезпечення при перевірці; -зручність; -швидкість діагностики. |
| 2 | Перевірка з детальним поясненням проблеми зношення | | | |
| 3 | Зручна діагностика у лабораторних умовах | | | |
| 4 | Універсальність системи та можливість її удосконалювати. | | | |

Основною цільовою аудиторією відповідно до вимог та потреб, що формує ринок, було обрано наукові інститути, приладобудівні, машинобудівні та військові заводи.

3) Складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту(табл. 5.6.) для аналізу ринкового середовища.

Таблиця 5.6. Фактори загроз

| <i>№ n/n</i> | <i>Фактор</i> | <i>Зміст загрози</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|------------------|---------------|-------------------------|--|
| 1 | Виробництво | ступінь зносу запчастин | Співпраця з заводами для закупки якісних запчастин оптом |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | Конкуренція | Вихід на ринок багато конкурентоспроможних компаній | Проінформувати клієнтів про високу якість нашої продукції за меншу ціну |
| 3 | Репутація виробника | Нова компанія не викликає значної довіри | Зробити ставку на маркетинг, рекламу, співпрацю з значними науковими інститутами та отримання відгуків від них. |
| 4 | Організація процесу виробництва на підприємстві | Початковий проект дуже важко правильно організувати та направити в правильне русло. | Створення чіткого плану дій, продумання всіх важливих питань, до того як випускати проект на ринок. |

Основними факторами, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту є: виробництво, конкуренція, репутація виробника та організація процесу виробництва на підприємстві.

Також визначаються основні фактори, що сприяють ринковому впровадженню проекту (табл. 5.7).

Таблиця 5.7. Фактори можливостей

| <i>№ п/п</i> | <i>Фактор</i> | <i>Зміст можливості</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|------------------|---------------|---|--|
| 1 | Попит | Велика кількість запитів на дослідження продукції | Розширення та збільшення обладнання та працівників |
| 2 | Ціна | Низькі ціни приваблюють клієнтів | Не високі ціни на автоматизовану систему |
| 3 | Інновації | удосконалення обладнання та метод дослідження | Висококваліфіковані працівники та іноземна наукова література для здійснення удосконалення обладнання. |
| 4 | Маркетинг | Залучення все більше нових клієнтів | Реклама у інтернеті, відгуки, співпраця з різними інститутами та заводами для більшої популярності товару. |

Основними факторами, що сприяють ринковому впровадженню проекту є: виробництво, попит, ціна, інновації та маркетинг.

4) Визначено загальні риси конкуренції на ринку (табл. 5.8).

Таблиця 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| | | |
|---|--|---|
| <i>Особливості конкурентного середовища</i> | <i>В чому проявляється дана характеристика</i> | <i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i> |
| | | |

| | | |
|--|--|--|
| Тип конкуренції – <u>олігополія</u> | Олігополія характеризується невеликою кількістю фірм (від 2 до 10), обгороджених бар'єрами, які перешкоджають вступу в галузь нових фірм, мають контроль над цінами, але при змові з іншими олігополістами | Має не багато конкурентів, тому може контролювати ціни на ринку |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби <u>-локальний</u> | Може використовуватися, як на світовому на національному світовому ринку | Отримання сертифікації, відповідності не тільки держ. нормам і стандартам, а й міжнародним та технічної ліцензії |
| 3. За галузевою ознакою <u>-міжгалузева</u> | Дослідження можна використовувати у різних галузях | Універсальність даної установки, є можливість покращити її і використовувати у багатьох галузях |
| 4. Конкуренція за видами товарів: <u>-між бажаннями</u> | Можлива конкуренція між різними видами товарів, які можуть виконувати подібні функції і між товарами одного виду | Так як система є універсальною, особливістю її є те що вона може застосовуватися у будь-якій галузі. |
| 5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова | Нецінова. Проводиться головним чином за допомогою вдосконалення якості продукції, технології виробництва, інновацій та нанотехнологій, патентування | Головною характеристикою є якість та ціна доступна для багатьох клієнтів |
| | Цінова. Для значної частки клієнтів ціна є визначальною при виборі. | |
| 6. За інтенсивністю <u>-не марочна</u> | Роль торгової марки незначна, хоча самі марки можуть бути присутніми на ринку | Дана продукція не потребує марок, головними її пріоритетами є якість та технологічність |

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку показав, що дана особливість конкурентного середовища має великі перспективи для конкурентної боротьби.

5) Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (табл. 5.9).

Таблиця 5.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| | <i>Прямі конкуренти в галузі</i> | <i>Потенційні конкуренти</i> | <i>Постачальники</i> | <i>Клієнти</i> | <i>Товари-замінники</i> |
|-------------------------|---|--|---|---|---|
| <i>Складові аналізу</i> | ТД Метротест, ООО, Нефтекамске (Рос-сія)) | ООО «Квантум-Лаб», (Рос-сія), Фирма "PFI", Гер-ма-ния, "Instron Corporation", США | (П Сіма, ТОВ “ВБР Електрік”, ТОВ “НВП Електра” | Інститут надтвер-дих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України, Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України | Копер маят-никовый КМ-500-М, Маятниковий копер pit452g, Настольная испытательная машина - ugt-ai3000 |
| | Wance, Ки-тай) | | | | |
| | UGNLab, Россия | | | | |
| Висновки: | Конкурент-на боротьба є незначною так, як товари конкурентів суттєво відрізняються в ціні та вузькою сферою застосування. | Є можли-вість входу на ринок, але з невеликими ма-сштабами, дуже мала кількість потенцій-них конку-рентів. | Співпраця з багатьма постачаль-никами для вибору кращих, дешевших, якісніших запчастин. | Клієнти диктують умови, які стосу-ються якості, удо-сконалення та універсальності. | При утво-ренні загроз з боку това-рів-замінників може відбу-ватися збі-льшення конкуренції ,яка призведе до втрати багатьох клієнтів. |

Аналіз конкуренції показав всіх прямих та потенційних конкурентів, постачальників та клієнтів, вияснено, що конкуренція є незначною так як є мало конкурентів, а попит на продукцію достатньо великий.

б) Використовуючи аналіз конкуренції, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 5.2), вимог споживачів до товару (табл. 5.5) та факторів маркетингового середовища (табл. №№ 5.6-5.7) визначено та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл. 5.10.

Таблиця 5.10.Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим) |
|----------|--|---|
| 1 | Ціна | Чим менша ціна, тим більший попит. |
| 2 | Постійні витрати на виробництво | Витрати на запчастини та на складові компоненти, які дуже швидко зношуються. |
| 3 | Попит | Розвиток галузі та виробництва, визначає попит на продукцію. |
| 4 | Інновації | Для того, щоб удосконалити продукцію необхідна велика база даних, патентів та винаходів. |
| 5 | Бар'єри проникнення | Тривалий час для отримання сертифікатів, ліцензії та патентну чистоту продукції. |
| 6 | Репутація виробника | Клієнтів привертає увага реклама, перед покупкою вони ознайомлюються з відгуками. |
| 7 | Рівень організації процесу виробництва на підприємстві | Чим краще організований виробничий процес, тим воно краще розвивається, має менше неточностей та браку виробництва. |
| 8 | Конкуренти | Вихід на ринок нових конкурентів, може суттєво вплинути на попит продукції. |

Наведено значущі чинники, що роблять фактори для порівняння конкурентоспроможності значущим, тим самим обґрунтовано фактори конкурентоспроможності.

7) За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 5.10) проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.11).

Таблиця 5.11.Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Бали 1-20 | Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з автоматизованою системою | | | | | | |
|----------|--|--------------|---|----|----|---|---|---|---|
| | | | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | Ціна | 18 | | • | | | | | |
| 2 | Попит | 16 | | | • | | | | |
| 3 | Інновації | 13 | | | • | | | | |
| 4 | Бар'єри проникнення | 12 | | | | • | | | |
| 5 | Постійні витрати на виробництво | 9 | | | | • | | | |
| 6 | Репутація виробника | 8 | | | | | | • | |
| 7 | Рівень організації процесу виробництва | 6 | | | | | • | | |
| 8 | Конкуренти | 4 | | | | • | | | |

Найбільші бали у порівнянні з товарами-конкурентами здобули: ціна, попит та інновації, слабкими факторами виявилися: репутація виробника, рівень організації процесу виробництва та конкуренти.

8) Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 5.12.SWOT-аналіз стартап-проекту

| | |
|--|---|
| Сильні сторони: | Слабкі сторони: |
| <ul style="list-style-type: none"> • нижча ціна порівняно з конкурентами (250000грн у конкурентів 500000грн)(ціна); • має високий попит, так як галузь дуже розвивається та має (попит); • за допомогою електромагнітного прискорювача систему можна удосконалювати і добитися кращих показників і ширшого використання(інновації). | <ul style="list-style-type: none"> • нове підприємство на ринку викликає значні підозри без відгуків та рекомендацій) (репутація виробника); • відсутність чіткої стратегії організації виробництва; |
| Можливості: | Загрози: |
| <ul style="list-style-type: none"> • попит (збільшення клієнтів через великий попит) ; • ціна (зробити акцент на низьку ціну та якість продукції(удвічі меншу ніж у прямого конкурента)); • Інновації (удосконалення обладнання та метод дослідження). | <ul style="list-style-type: none"> • Виробництво (високий ступінь зносу запчастин); • Конкуренція (поява нових конкурентів на українському ринку); • Репутація виробника (початковий проект дуже важко правильно організувати та направити в правильне русло). |

За допомогою визначення можливих загроз та можливостей розроблено SWOT- за яким ми зможемо удосконалити та скорегувати свою стратегію конкурентної поведінки та стратегії розвитку проекту.

9) На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 5.13).

Таблиця 5.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| <i>№ п/п</i> | <i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i> | <i>Ймовірність отримання ресурсів</i> | <i>Строки реалізації</i> |
|------------------|---|---|--------------------------|
| 1. | Динамічна(Освоєння нових ринків, зростання масштабів виробництва розроблення та впровадження інновацій, розвиток потенціалу для реалізації стратегічних цілей розвитку) | Збільшення поставальників, удосконалення ресурсів, найм високоосвіченого робочого персоналу | 1,8років |
| 2. | Нестійкий (Раціоналізація асортименту продукції, утримання частки ринку, лідерство в ніші) | Поступове удосконалення ресурсів | 1 рік |
| 3. | Стабільний(Утримання конкурентного положення, утримання ринкової ніші, зростання частки ринку з нарощенням виробництва, акумуляція прибутку) | Замовлення деталей у перевірних поставальників, високоосвічений робочий персонал | 6 місяців |

Було обрано стабільну альтернативу ринкової поведінки. Вона є найбільш безпечною, так як вона має найменші строки реалізації при чому є можливість триматися конкурентної позиції та поступово прибавляти прибуток та нарощувати виробництво.

5.4.Розроблення ринкової стратегії проекту

1) Створення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.14).

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

| <i>№ п/п</i> | <i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i> | <i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i> | <i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i> | <i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i> | <i>Простота входу у сегмент</i> |
|--|---|--|--|---|---------------------------------|
| 1 | Заводи | середня | високий | низька | просто |
| 2 | Наукові інститути | висока | високий | середня | просто |
| 3 | Військові | середня | середній | середня | середня |
| Які цільові групи обрано: наукові інститути та заводи | | | | | |

Як цільову групу споживачів обрано наукові інститути та заводи так, як у даних сегментах низька інтенсивність конкуренції та у даний сегмент легше ввійти. У даному сегменті існують великі перспективи розвитку та можливість удосконалення автоматизації системи.

2) Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (табл. 5.15).

Таблиця 5.15.Визначення базової стратегії розвитку

| <i>№ n/n</i> | <i>Обрана альтер- натива розвит- ку проекту</i> | <i>Стратегія охоп- лення ринку</i> | <i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i> | <i>Базова стратегія розвитку*</i> |
|------------------|---|---|--|---|
| 1. | стабіль- на | стратегія зазви- чай тісно пов'язана з можливістю дося- гнення ефекту ма- сштабу і досвіду (стабільно, без ри- зиків добиватися поставлених цілей) | фірма здатна протистояти своїм прямим конкурентам навіть у ра- зі цінової війни і в змозі отримувати прибуток при ціні, мінімально допустимій для конкурентів; ни- зькі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів і одночасно хороший захист проти товарів-замінників. | Стратегія лідерства по витратах |

Обрано стабільну альтернативу розвитку тому, що у ході конкурентної боротьби з використанням цієї стратегії з ринку вимушені будуть піти фірми, менш ефективні з точки зору величини і структури витрат, нездібні до проведення технологічних новацій, спрямованих на зниження витрат.

3) Вибрано стратегію конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.16.Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| <i>№ n/n</i> | <i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i> | <i>Чи буде ком- панія шукати нових споживачів, або за- бирати існую- чих у конку- рентів?</i> | <i>Чи буде компанія копію- вати основні характеристики товару конкурента, і які?</i> | <i>Стратегія конкурентної поведінки*</i> |
|------------------|--|---|---|--|
| | Проект, не є пер- шопрохідцем, проте він не по- ширений у вико- | Компанія буде забирати споживачів у існуючих кон- | Компанія, випускає то- вари-імітатори, займаю- чи ринкову частку, яку з різних причин не мо- | Стратегія на- слідування лідеру |

| | | | | |
|--|-------------------------|-------------------------------------|---|--|
| | ристанні у нашій країні | курентів, а також прибавляти нових. | жуть охопити фірми лідери, обумовлена перевагою локалізації, краще знання національного ринку, налагоджені зв'язки з клієнтами. | |
|--|-------------------------|-------------------------------------|---|--|

Для початкового входження на ринок було обрано стратегію наслідування лідера, так, як це дозволяє зменшити конкурентну боротьбу та зосередити свій бізнес на отримання прибутків.

4) На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку розроблено стратегію позиціонування (табл.5.17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.17.Визначення стратегії позиціонування

| <i>№ n/n</i> | <i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i> | <i>Базова стратегія розвитку</i> | <i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i> | <i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i> |
|------------------|--|---|--|--|
| 1 | Якісна діагностика за низькою ціною | Позиціонування за співвідношенням "ціна – якість" | Якісна перевірка і так як продукт виходить на українському ринку, ціна на них буде на багато менша чим на європейські системи ,які займають основний ринок | "європейська якість за українськими цінами", "якісна система дослідження за кращими цінами", "відмінне дослідження при малих затратах" |

Було визначено стратегію позиціонування, вона буде орієнтована на низьку ціну продукту, порівняно з конкурентами, за аналогічною якістю.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

1) Для того, щоб сформувати маркетингову концепцію товару, який отримає споживач. підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару (табл. 5.18).

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| № п/п | Потреба | Вигода, яку пропонує товар | Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити) |
|----------|---|--|--|
| 1 | Якісне дослідження | Автоматизоване дослідження, що допомагає зрозуміти конкретну суть проблеми | Орієнтованість маркетингової стратегії на якість продукції |
| 2 | Універсальність автоматизованої системи | Використання у багатьох галузях | Висококваліфіковані фахівці, які працюють над вдосконаленням системи |
| 3 | Малобюджетне дослідження | Низькі ціни | Нижча ціна ніж у міжнародних конкурентів |

Основними вигодами, які пропонує товар є автоматизоване дослідження, що допомагає зрозуміти конкретну суть проблеми, використання у багатьох галузях та низькі ціни.

2) Розроблена трирівнева маркетингова модель товару: уточнено ідею продукту, його фізичні складові та особливості процесу його надання (табл. 5.19).

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

| Рівні товару | Сутність та складові | | |
|---|---|---------|-----------------------|
| I. Товар за задумом | Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди | | |
| II. Товар у реальному виконанні | Властивості /характеристики | м\с/см | Гц /кг/В/мм. Рт. Ст |
| | Діапазон вимірюваних швидкостей | 0-10м\с | |
| | Швидкодія вимірів за секунду, не менше: | | При частоті мережі 50 |
| | Маса бойка | | 0,5 |
| | Довжина бойка | 10 | |
| | Напруга живлячої мережі, В | | 220±22 |
| | Атмосферний тиск | | 650..800 |
| Якість: Вимоги до електроживлення ДСТУ 13109-87, вимоги до електричної міцності і до опору ізоляції ДСТУ 26104-94, методи випробування по ДСТУ 22261-94 і ДСТУ 12997-84 | | | |

| | |
|--|---|
| | Пакування: упаковка з нанесенням спеціального дизайну. На упаковці міститься така інформація (маркування): Загальна назва продукту, власна назва; Умови зберігання; позначення ДСТУ 4503:2005; найменування та адреса виробника і місце виготовлення; товарний знак; штриховий код згідно з ДСТУ 3147. |
| | Марка: Вертикальний копер на базі мірних стрижнів Гопкінсона-Кольського з використанням електромагнітного прискорювача мас |
| III. Товар із підкріпленням | Інформацію щодо якості продукту споживач може отримати з інформаційних сайтів, реклами та відгуків тощо. |
| За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: за допомогою ліцензії, патентів на винахід та сертифікатів. | |

За допомогою визначення основних характеристик системи було визначено основні вимоги по ДСТУ до продукції, вимоги до пакування та визначено, що за допомогою патентів та ліцензії він буде захищений від копіювання.

3) Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, наведено у табл.5.20.

Таблиця 5.20. Визначення меж встановлення ціни

| № п/п | Рівень цін на товари- замінники | Рівень цін на товари- аналоги | Рівень доходів ці- льової групи спо- живачів | Верхня та нижня межі встановлення ціни на то- вар/послугу |
|----------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|---|
| | 100000 | 500000 | Високий рівень доходів | 100000-800000 грн |

Визначення цінових меж показало, що даний стартап-проект значно виграє в ціні на відміну від цін на товари аналоги, а доходи цільових груп споживачів є достатньо високими, щоб економно закупляти даний товар.

4) Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах яких приймаються рішення функції збуту, глибини каналу та оптимальну систему збуту. (табл. 5.21).

Таблиця 5.21. Формування системи збуту

| <i>№ п/п</i> | <i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i> | <i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i> | <i>Глибина каналу збуту</i> | <i>Оптимальна система збуту</i> |
|------------------|--|--|---|---|
| | Клієнт ознайомлюється з характеристикою товару, присутній на експериментальних дослідженнях, швидке замовлення, отримання гарантії та сертифікатів, підписання договору. | -Швидке транспортування; -Сортування; - Інформування. | Внутрішня служба збуту, що допомагає економити на транспортуванні | Проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників(власна або залучена система збуту). |

Було сформовано специфіку закупівельної поведінки, функції збуту, глибину каналу та оптимальну систему збуту.

5) Розроблено концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5.22).

Таблиця 5.22. Концепція маркетингових комунікацій

| <i>№ п/п</i> | <i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i> | <i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i> | <i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i> | <i>Завдання рекламного повідомлення</i> | <i>Концепція рекламного звернення</i> |
|------------------|---|---|---|--|--|
| | Ознайомлення характеристикою товару на сайті, можливість самому клієнтові оцінити ефективність системи, побачивши на власні очі, отримання гарантії та сертифікатів, підписання договору. | Ефективність контакту (відгуки), можливість цінити ефективність системи | Позиціонування за співвідношенням "ціна-якість" | Донести систему, як сучасний, автоматизований продукт міжнародної якості за низьких цінах. | "європейська якість за українськими цінами", "якісна система дослідження за кращими цінами", "відмінне дослідження при малих затратах" |

Розроблено ринкову (маркетингову) програму, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ці-

ноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища.

5.6. Висновки до розділу 5

Було розроблено стартап-проект “Автоматизована система дослідження міцності крихких матеріалів”. Сформовано ідею стартап-проекту, її використання та застосування.

Аналіз ринку та ситуації, що склалася на ньому, дозволив виявити головні тенденції подальшого розвитку галузі, змін споживчих переваг, головні напрямки подальшої діяльності на ринку. Вибрано із усіх можливих технологію маятниковий копер на базі мірних стрижнів Гопкінсона-Кольського використовуючи електромагнітний прискорювач, порівнюючи всі за наявністю, доступністю та за продуктом, який можна отримати в результаті. Крім того, електромагнітний прискорювач незважаючи на свою простоту, має неймовірно великий простір для конструкторських й інженерних рішень - так що цей напрямок досить цікавий та перспективний.

Було доведено, що проект має великий попит на ринку, а саме серед наукових інститутів, у заводів приладобудівної, машинобудівної та військової галузі виробництва. Через те, що ціна продукту низька на відміну від іноземних конкурентів, які в основному виробляють аналогічні вироби, проект має значну конкурентоспроможну позицію. Було виявлено можливості та загрози ринку, сильні та слабкі сторони підприємства, конкурентні позиції на національному та міжнародному ринку.

Обрано стабільну альтернативу ринкової поведінки. Вона є найбільш безпечною, так як вона має найменші строки реалізації при чому є можливість триматися конкурентної позиції та поступово прибавляти прибуток та нарощувати виробництво. Даний проект має велику перспективу для подальшого розвитку тому, що за допомогою удосконалення можна ще більше розширити сферу застосування і залучити нових клієнтів.

ВИСНОВКИ

Завдання, яке стояло перед дисертаційною роботою полягало у роботі автоматизованої системи досліджень характеристик міцності нових інструментальних і конструкційних матеріалів.

Для вирішення поставленої задачі було виконано наступні цілі:

1. Виконано модернізацію установки контролю міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні за рахунок оснащення її електромагнітним прискорювачем;
2. Розроблено принципову схеми запуску електромагніту;
3. Виконано автоматизацію установки за допомогою високошвидкісного аналого–цифрового перетворювача;
4. Застосовано методику Кольського на основі мірних стержнів Гопкінсона для визначення енергетичних характеристик процесу руйнування крихких матеріалів;
5. Встановлено залежності границі міцності на розтяг при діаметральному стиску інструментальних композитів на основі КНБ від вмісту алюмінію та дибориду титану TiB_2 ;
6. Розроблено стартап-проект.

За допомогою модернізації установки було розширено сферу застосування та діагностики . Була розроблена система контролю характеристик міцності крихких матеріалів, яка пройшла апробацію при дослідженнях міцності твердих сплавів та надтвердих матеріалів. Отримані експериментальні результати про міцність твердих сплавів можуть бути використані для удосконалення перевірки твердого сплаву від різальних пластин до втулок у турбінах на атомних станціях , для дослідження властивостей нових матеріалів(метрологія) так і у перспективі, у військовій галузі (для дослідження міцності бронепластин).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ТВЕРДІ СПЛАВИ [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: 1. https://studopedia.ru/16_31763_tverdi-splavi.html.
2. Ломунов А. К. Автоматизированная система динамических испытаний материалов на установке с разрезными стержнями Гопкинсона Прикладные проблемы прочности и пластичности. Алгоритмизация и автоматизация научных исследований: Всесоюзный межвузовский сборник./А.К. Ломунов – Горький: Горьковский университет, 1988. –27-34с.
3. Новиков Н.В. Силоизмерительное устройство для динамических испытаний материалов. /Н.В. Новиков Н.В., Л.Н. Девин , С.А.Иванов. / Заводская лаборатория. – 1980. – 46. – №7-667с.
4. Кольский Г. Волны напряжения в твердых телах/Г. Кольский .– М.: Изд-во иностранной литературы, 1955 -194с.
5. Давиденков Н. Н., Динамические испытания металлов/Н.Н. Давиденков- 2 изд., Л. - М., 1936 – 369 с.
6. Жуковец И.И. Механические испытания металлов. Учебное пособие для техн.училищ/ И.И. Жуковец/-Серия: Профтехобразование. Материаловедение. М. Высшая школа 1980.-192 с.
7. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов.Деформация и разрушение/Я. Б. Фридман - М.: Машиностроение, 1972. - 472 с.
8. Погодин-Алексеев Г. И. Динамическая прочность и хрупкость металлов. – М.: Машиностроение, 1973. – 201 с.
9. Дейвис Р.М. Волны напряжений в твердых телах /Р.М. Дейвис - М.: Иностранная литература, 1961. — 102 с.
10. Коротких Ю. Г. Численное исследование процесса динамического деформирования разрезного стержня Гопкинсона Механика деформированного твердого тела./ Ю.Г. Коротких, Ю.Б.Пуртов – Новосибирск: Институт гидродинамики, 1979. – №41. –60–64 с.

11. Девин Л.Н. Прочность инструментальных материалов при однократном ударном нагружении . Проблемы прочности/ Л.Н. Девин, М.Д. Вайсбанд– 1992. –№ 7. -.33-40с.
12. Методы испытаний, контроля и исследования машиностроительных материалов. /Под ред. А.Т. Туманова. Т.2. М.: Машиностроение, 1974. – 320с.
13. Павлов П.А. Механические состояния и прочность материалов/П.А.- Учеб. пособие. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979.-176 с.
14. Макклиток Ф. А. Вопросы пластичности в механике разрушения .Прикладные вопросы вязкости разрушения./Ф.А. Макклиток , Дж. Р. Ирвин - М.: Мир, 1968.-143–186 с.
15. Соболев, Н. Д. Механические свойства материалов и основы физики прочности / Н. Д. Соболев, К. П. Богданович. М., 1985.-96с.
16. Серенсен, С. В. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность / С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Р. М. Шнейдерович; изд. 3-е. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.
17. Шоу М. Испытание дисковых образцов изхрупких материалов: Конструирование и технология машиностроения /М. Шоу, П. Брайден, Г. Де-Сальво- Тр. амер. об-ва инж.-мех., 1975.№ 1- 80-92с.
18. Девин Л.Н. Определение предела прочности при растяжении поли-кристаллических сверхтвёрдых материалов / Л.Н. Девин // Сверхтвёрдые мате-риалы. – 1998. – № 7. – 24–28 с
19. Девин Л.Н.Модернизация установки для динамических испытаний хрупких материалов .Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сборник научных трудов./Л.Н. Девин, В.С. Панов, А.Г. Сулима– Вып. 7.– Киев: ИСМ им В. Н. Бакуля, 2004. – 280-283с.
20. Иванов К. И., Андреев В. Д. Забойные процессы и энергоемкость разрушения горных пород при бурении .Взрывное дело/К.И. Иванов, В.Д. Андреев. – М: Недра, 1964. – №56/13. – С.66-

82. Композиционные материалы. Т. 5 Разрушение и усталость. – М.: Мир, 1978. – 237 с.

21. Девин Л.Н. Исследование энергетических характеристик разрушения хрупких материалов при динамических нагрузках. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сборник научных трудов./Л.Н. Девин, В.С. Панов, А.Г. Сулима, А.В. Губа – Вып. 9.– Киев: ИСМ им В. Н. Бакуля, 2006. –360-364 с.

22. Девин Л.Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента/Л.Н. Девин – Киев: Наук. думка., 1992.- 131с.

23. А. с. №890133 СССР, МКИ³ G 01 N 3/30 Способ исследования механических свойств материала при его разрушении. / Новиков Н. В., Девин Л. Н., Майстренко А. Л. – Оpubл. 15.12.81. Бюл. №46

24. Німченко Т.В. Розробка електромагнітного прискорювача бойка для установки «Копер» / Німченко Т.В., Осадчий О.А., Девін Л.М., Рябова Л.В., Писаренко О.Л. // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2017). Десята міжнародна науково-практична конференція 16-17 травня 2017 року, Київ, Україна. – К.: НАУ, 2017р. -191с.

25. Патент України на корисну модель №u201711007, заявл. 10.11.17/Електромагнітний прискорювач мас / Писаренко О.Л., Осадчий О.А.

26. Application of acoustic methods for the monitoring of products made of hard alloys / L.M. Devin, V.P. Bondarenko, A.A. Osadchyi, T.V. Nimchenko // Materials Science, 45 (3), pp. 392-398с.

26. Девин Л.Н., Вайсбанд М. Д., Прочность инструментальных материалов при однократном ударном нагружении // Проблемы прочности, 1992. –№ 7. – с. 33-40.

28. Девин Л.Н. Определение предела прочности при растяжении поликристаллических материалов // Сверхтвердые материалы, 1988. – №2. – С. 61-66.

29. Девин Л.Н., Панов В.С., Сулима А. Г. Модернизация установки для динамических испытаний хрупких материалов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сборник научных трудов. – Вып. 7. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, 2004. – с. 280-283.

30. Kyi Sung Min, A. J. Ardell, S. J. Eck, F. C. Chen. A small-specimen investigation of the fracture toughness of Ti_5Si_3 // J. Materials science 30 (1995)

31. Писаренко О.Л. Автоматизована система контролю міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні/ О.Л. Писаренко О.Л., О.А. Осадчий /X Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Погляд у майбутнє приладобудування.– К.: НТУУ КПІ, 2017

32. Osadchiy O.A.Strength control system under dynamic load with electromagnetic accelerator / O.A. Osadchiy, O.L. Pysarenko /.XVII Міжнародна науково-технічна конференція “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”., - К.: НТУУ”КПІ”, 2018.

33. Писаренко О.Л. Модернізація системи для контролю міцності при динамічному навантаженні/ О.Л. Писаренко О.Л., О.А. Осадчий/XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Погляд у майбутнє приладобудування. – К.: НТУУ “КПІ”, 2018.

34. Osadchiy A.A. Influence of tcp on the damping properties of the cutting plates with hard alloys /A.A. Osadchiy, N.M. Prokopiv, L.N. Devin L.N.,O. L. Pysarenko /6-я международная самсоновская конференция “материаловедение тугоплавких соединений. - К.:НТУУ “КПІ”,2018;

35. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів

інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

Додаток

СПИСОК
наукових праць Писаренко Олени Леонідівни

| № п/п | Назва | Видавництво, журнал (назва, номер, рік) чи номер авторського свідоцтва | К-сть друк. сторінок | Прізвища співавторів |
|-------|--|---|----------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Теза: Розробка електромагнітного прискорювача бойка для установки «Копер» | X міжнародна науково-практична конференція 16-17 травня 2017 року, Київ, Україна. – К.: НАУ, 2017.-191с. | 3 | Німченко Т.В., Осадчий О.А., Девін Л.М., Рябова Л.В. |
| 2. | Теза: Система дослідження динамічної міцності крихких матеріалів | X Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Погляд у майбутнє приладобудування 16-17 травня 2017 року, Київ, Україна. – К.: НТУУ КПІ, 2017. – 57 с. | 1 | Осадчий О.А. |
| 3. | Теза: Автоматизована система контролю міцності крихких матеріалів при динамічному навантаженні | Сімнадцята міжнародна науково-технічна конференція “приладобудування: стан і перспективи” 15 - 16 травня 2018 р., м. київ, україна - К.: НТУУ КПІ, 2018; | 2 | Осадчий О.А. |
| 4. | Теза: Вплив змашення ключових вузлів на вібраційний стан верста-та | XVII міжнародної науково-практичної конференції «машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» 01 - 03 листопада 2017 р- Чернігів, 2017 – 168с. | 2 | Осадчий О.А. |
| 5. | Патент: Електромагнітний прискорювач мас | патент України на корисну модель №u201711007, заявл. 10.11.17 ; | 1 | Осадчий О.А. |
| 6. | Теза: Influence of tcp on the damping properties of the cutting plates with hard alloys | •6-я международная самсоновская конференция “материаловедение тугоплавких соединений” 22-24 мая 2018 року, киев, україна - К.: НТУУ КПІ, 2018. - ; | 1 | Osadchiy A.A., Prokopiv N.M, Devin L.N. |
| 7. | Стаття: Strength control system under dynamic load with electromagnetic accelerator | Сімнадцята міжнародна науково-технічна конференція “приладобудування: стан і перспективи” 15 - 16 травня 2018 р., м. київ, україна - К.: НТУУ КПІ, 2018; | 9 | Osadchiy A.A. |

| | | | | |
|----|---|--|---|--------------|
| 8. | Стаття: Модернізація системи для контролю міцності при динамічному навантаженні | XI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Погляд у майбутнє приладобудування 15-16 травня 2018 року, Київ, Україна. – К.: НТУУ КПІ, 2018-236 с. | 5 | Осадчий О.А. |
|----|---|--|---|--------------|

Дипломний керівник _____ Осадчий О.А.

Автор _____ Писаренко О.Л.